



TUGAS AKHIR - TF 141581

**PENGARUH DAN PREDIKSI PERUBAHAN
VARIABEL CUACA TERHADAP PERFORMANSI
DAN EFISIENSI SISTEM PV: STUDI KASUS DI
KOTA SURABAYA**

**IRVING PUTRA FUADI
NRP 2413 100 029**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - TF 141581

***THE EFFECT AND PREDICTION OF WEATHER
VARIABLES CHANGE TOWARDS
PERFORMANCE AND EFFICIENCY OF PV
SYSTEM: CASE STUDY IN SURABAYA CITY***

IRVING PUTRA FUADI
NRP 2413 100 029

Supervisor
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Irving Putra Fuadi
NRP : 2413100029
Departemen : Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **“Pengaruh dan Prediksi Perubahan Variabel Cuaca Terhadap Performansi dan Efisiensi Sistem PV: Studi Kasus di Kota Surabaya”** adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 24 Juli 2017
Yang membuat pernyataan,

Irving Putra Fuadi
NRP. 2413100029

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PENGARUH DAN PREDIKSI PERUBAHAN VARIABEL CUACA TERHADAP PERFORMANSI DAN EFISIENSI SISTEM PV: STUDI KASUS DI KOTA SURABAYA

Oleh:

Irving Putra Fuadi

NRP 2413 100 029

Surabaya, 17 Juli 2017

Menyetujui,
Dosen Pembimbing



Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

NIPN. 19761223 200501 1 001

Mengetahui,
Ketua Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D

NIPN. 19780902 200312 1 002

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH DAN PREDIKSI PERUBAHAN VARIABEL CUACA TERHADAP PERFORMANSI DAN EFISIENSI SISTEM PV: STUDI KASUS DI KOTA SURABAYA

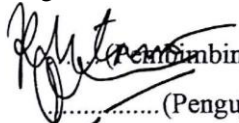


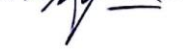
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Energi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Irving Putra Fuadi
NRP. 2413 100 029

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.  (Pembimbing I)
2. Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T.  (Penguji I)
3. Ir. Roekmono, M.T.  (Penguji II)
4. Dr. Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T.  (Penguji III)

SURABAYA
JULI 2017

PENGARUH DAN PREDIKSI PERUBAHAN VARIABEL CUACA TERHADAP PERFORMANSI DAN EFISIENSI SISTEM PV: STUDI KASUS DI KOTA SURABAYA

Nama : Irving Putra Fuadi
NRP : 2413 100 029
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

Abstrak

Photovoltaik merupakan salah satu media yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Photovoltaik mempunyai kekurangan dimana sangat bergantung kepada intensitas matahari sebagai sumber utama. Letak pemasangan serta perubahan cuaca sangat mempengaruhi dari performa dan efisiensi dari sistem PV. Simulasi sistem PV ditujukan untuk mengetahui pengaruh perubahan variabel cuaca selama satu tahun di kota Surabaya, dengan menggunakan data iradiasi matahari dan suhu kota Surabaya serta dilakukan prediksi variabel cuaca dengan menggunakan metode ARIMA untuk mengetahui dampak dari perubahan cuaca kedepannya terhadap sistem PV. Dengan menggunakan data yang berasal dari perhitungan iradiasi teoritis, stasiun BMKG Juanda, dan NASA POWER, didapatkan efisiensi dari data iradiasi teoritis sebesar 16% untuk efisiensi array PV, 93.86% untuk efisiensi inverter, dan 54.21% untuk efisiensi sistem PV. Nilai efisiensi dari data BMKG Juanda sebesar 6.96% untuk efisiensi array PV, 89.26% untuk efisiensi inverter, dan 41.04% untuk efisiensi sistem PV. Nilai efisiensi dari data NASA POWER sebesar 6.95 untuk efisiensi array PV, 89.24% untuk efisiensi inverter, dan 42.05% untuk efisiensi sistem PV. Simulasi dengan menggunakan data ARIMA menghasilkan nilai efisiensi array sebesar 42.2%, efisiensi inverter sebesar 90.31%, dan efisiensi sistem sebesar 39.85%.

**Kata kunci: Sistem PV, Iradiasi Matahari, Suhu, Efisiensi,
Metode ARIMA**

**THE EFFECT AND PREDICTION OF WEATHER
VARIABLES CHANGE TOWARDS PERFORMANCE AND
EFFICIENCY OF PV SYSTEM: CASE STUDY IN
SURABAYA CITY**

Name : Irving Putra Fuadi
NRP : 2413 100 029
Department : Engineering Physics FTI-ITS
Supervisors : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

Abstract

Photovoltaics is one of the technology that can convert solar energy into electrical energy. Photovoltaics have flaws which depend on the intensity of the sun as the main source. The location of the installation and weather changes greatly affect the performance and efficiency of the PV system. The simulation of PV system is aimed to analyzed the effect of change of weather variable for one year in Surabaya city, using solar irradiation data and Surabaya city temperature and prediction of weather variable using ARIMA method to know the impact of future weather change on PV system. Using data derived from theoretical irradiation calculations, BMKG Juanda station, and NASA POWER, the efficiency of 16% theoretical irradiation data for PV array efficiency, 93.86% for inverter efficiency and 54.21% for PV system efficiency. The efficiency rating of BMKG Juanda data is 6.96% for PV array efficiency, 89.26% for inverter efficiency, and 41.04% for PV system efficiency. The efficiency value of NASA POWER data is 6.95 for PV array efficiency, 89.24% for inverter efficiency, and 42.05% for PV system efficiency. Simulation using ARIMA data resulted 42.2% array efficiency, 90% of inverter efficiency, and system efficiency 39.85%.

Keywords: PV System, Solar Irradiaton, Ambient Temperature, Efficiency, ARIMA Method

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, serta shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, hingga terselesaikannya Tugas Akhir beserta Laporan Tugas Akhir yang berjudul

“PENGARUH DAN PREDIKSI PERUBAHAN VARIABEL CUACA TERHADAP PERFORMANSI DAN EFISIENSI SISTEM PV: STUDI KASUS DI KOTA SURABAYA”

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian Tugas Akhir dan laporan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika ITS.
2. Bapak Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T selaku dosen pembimbing tugas akhir ini yang selalu memberikan dukungan.
3. Bapak Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc selaku dosen wali penulis.
4. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar Teknik Fisika ITS.
5. Hendi Muhayin Fuadi dan Eva selaku orang tua yang telah memberikan dukungan penuh mulai dari do'a, dana, hingga motivasi dalam kondisi apapun.
6. Ivan Himawan Fuadi selaku adik kandung yang selalu menghibur penulis disaat lelah.
7. Segenap keluarga besar penulis yang telah memberikan dukungan, do'a dan motivasi terhadap penyelesaian tugas akhir ini.
8. Ratri Kartika Sari selaku teman terdekat yang telah memberikan do'a, motivasi dan dukungan kepada penulis
9. Teman-teman ngenak total yang selalu memberikan semangat dan menghibur penulis dalam waktu kapanpun.
10. Teman-teman warga kantin idjo Teknik Fisika yang selalu ada dan memberikan semangat kepada penulis ketika mengerjakan tugas akhir

11. Babe Jali yang selalu menyediakan asupan gizi untuk menghadapi tugas akhir
12. Teman-teman pejuang TW 116 yang telah memberikan semangat dan dukungan.
13. Teman-teman asisten laboratorium yang telah memberikan semangat kepada penulis atas penyelesaian tugas akhir ini.
14. Rekan-rekan F48 dan warga Teknik Fisika ITS yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidaklah sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Selain itu juga semoga dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan Tugas Akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 24 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxiii
DAFTAR NOTASI.....	xxv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Sistematika Laporan.....	3
BAB II DASAR TEORI	
2.1. Photovoltaik.....	5
2.2. Sistem Photovoltaik.....	8
2.3. Baterai Lead-Acid.....	11
2.4. Solar Charge Controller.....	13
2.5. DC-AC Inverter.....	14
2.6. Autoregressive Integrated Moving Average.....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Studi Literatur.....	19
3.2. Pengumpulan Data.....	20
3.3. Pemodelan Sistem PV.....	21
3.4. Validasi Data Simulasi Sistem PV.....	30
3.5. Perhitungan Performa dan Efisiensi Sistem Photovoltaik.....	30
3.6. Penentuan Model Matematis untuk Prediksi Variabel Cuaca dengan Metode ARIMA.....	32
3.7. Validasi Hasil Prediksi dengan Data Cuaca Aktual....	35
3.8. Analisa Data.....	35

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Simulasi Karakteristik Panel PV.....	37
4.2. Nilai Iradiasi Matahari Kota Surabaya.....	39
4.3. Hasil Simulasi Terhadap Array PV.....	40
4.4. Hasil Simulasi Terhadap Baterai.....	45
4.5. Hasil Simulasi Terhadap Inverter.....	50
4.6. Analisa Efisiensi Sistem PV.....	53
4.7. Hasil Simulasi Prediksi Variabel Cuaca.....	59

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	67
5.2. Saran.....	67

DAFTAR PUSTAKA.....	69
---------------------	----

LAMPIRAN.....	71
---------------	----

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Panel Photovoltaik.....	5
Gambar 2.2. Rangkaian Ekvivalen Photovoltaik.....	6
Gambar 2.3. Pemasangan Seri-Paralel Photovoltaik.....	7
Gambar 2.4. Kurva I-V: (a) Pemasangan Paralel, (b) Pemasangan Seri, (c) Pemasangan Seri Paralel.....	7
Gambar 2.5. Jenis Panel PV.....	8
Gambar 2.6. Skema Grid Connected PV System.....	9
Gambar 2.7. Skema Hybrid PV Power System.....	10
Gambar 2.8. Bagian Baterai Lead-Acid.....	11
Gambar 2.9. Bagian Baterai Lead-Acid.....	11
Gambar 2.10. Model Baterai Non-Linier.....	12
Gambar 2.11. Solar Charge Controller.....	13
Gambar 2.10. DC-AC Inverter.....	15
Gambar 3.1. Skema Diagram Alir Penelitian.....	19
Gambar 3.2. Sistem PV di Atas Gedung Pascasarjana Teknik Fisika ITS.....	20
Gambar 3.3. Diagram Blok Sistem PV.....	21
Gambar 3.4. Diagram blok dari controller charge.....	26
Gambar 3.5. Pemodelan Sistem PV dalam <i>Software</i> MatLab Simulink.....	30
Gambar 3.6. Diagram Alir Metode ARIMA.....	33
Gambar 4.1. Karakteristik Panel PV Berdasarkan Perbedaan Iradiasi Matahari.....	37
Gambar 4.2. Karakteristik Panel PV Berdasarkan Perbedaan Suhu.....	38
Gambar 4.3. Iradiasi Matahari Kota Surabaya Tahun 2016.....	39
Gambar 4.4. (a) Arus Keluaran Array PV (b) Daya Keluaran Array PV.....	41
Gambar 4.5. (a) Arus Keluaran Array PV Iradiasi Teoritis (b) Daya Keluaran Array PV Iradiasi Teoritis.....	42
Gambar 4.6. (a). Arus Keluaran Array PV Data BMKG (b). Daya Keluaran Array PV Data BMKG.....	43

Gambar 4.7.	(a) Arus Keluaran Array PV Data NASA POWER (b). Daya Keluaran Array PV Data NASA POWER.....	44
Gambar 4.8.	(a). Grafik SOC Baterai Data Pengukuran (b). Grafik Tegangan Baterai Data Pengukuran.....	45
Gambar 4.9.	(a). Grafik SOC Data Iradiasi Teoritis (b). Grafik Tegangan Baterai Data Iradiasi Teoritis.....	46
Gambar 4.10.	(a) Grafik SOC Baterai Data BMKG (b)Grafik Tegangan Baterai Data BMKG.....	48
Gambar 4.11.	(a) Grafik SOC Baterai Data NASA POWER (b). Grafik Tegangan Baterai Data NASA POWER.	49
Gambar 4.12.	Keluaran Tegangan AC Inverter Data Pengukuran.....	50
Gambar 4.13.	Keluaran Tegangan AC Inverter Data Iradiasi Teoritis.....	51
Gambar 4.14.	Keluaran Tegangan AC Inverter Data BMKG Juanda.....	52
Gambar 4.15.	Keluaran Tegangan AC Inverter Data NASA POWER.....	53
Gambar 4.16.	Efisiensi Array PV.....	54
Gambar 4.17.	Efisiensi Inverter PV.....	55
Gambar 4.18.	Efisiensi Sistem PV.....	56
Gambar 4.19.	Hasil Prediksi Variabel Cuaca Selama 100 Hari	57
Gambar 4.20.	Grafik Hasil Prediksi Variabel Cuaca, ARIMA dengan Data BMKG Juanda.....	57
Gambar 4.21.	Grafik Hasil Prediksi Variabel Cuaca, ARIMA dengan Data NASA POWER.....	58
Gambar 4.22.	Grafik Hasil Prediksi Variabel Cuaca untuk 40 Hari Selanjutnya.....	59
Gambar 4.23.	(a) Arus Keluaran Array PV Data Iradiasi ARIMA (b). Daya Keluaran Array PV Data Iradiasi ARIMA.....	60
Gambar 4.24.	(a) Grafik SOC Data Iradiasi ARIMA (b). Grafik Tegangan Baterai Data Iradiasi ARIMA.....	61
Gambar 4.25.	Keluaran Tegangan AC Inverter Data Iradiasi ARIMA.....	62

Gambar 4.26. Efisiensi Array PV Data ARIMA.....	63
Gambar 4.27. Efisiensi Inverter Data ARIMA.....	64
Gambar 4.28. Efisiensi Sistem PV Data ARIMA.....	65

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Spesifikasi Panel PV.....	23
Tabel 3.2. Spesifikasi Baterai.....	25
Tabel 3.3. Tabel Spesifikasi Solar Charge Controller.....	28
Tabel 3.4. Tabel Spesifikasi Inverter.....	29
Tabel 3.5. Hasil Validasi panel PV.....	30

DAFTAR NOTASI

μ'	= Konstanta
ϕ_p	= Parameter autoregresif ke-p
e_t	= Nilai kesalahan pada saat t
e_{t-k}	= Nilai kesalahan pada saat t – k
(p,d,q)	= Bagian yang tidak musiman dari model
(P,D,Q)	= Bagian musiman dari model
S	= Jumlah periode per musim
I_{sc}	= Solar constant (1.3661 kW/m^2)
N	= Jumlah hari dalam satu tahun
I	= Array Current (A)
$I_{sc,cell}$	= Photo Generated Current (A)
I_o	= Reverse Current (A)
q	= Electron Charge ($1.60217646 \times 10^{-19} \text{ C}$)
k	= konstanta boltzmann ($1.3806503 \times 10^{-23} \text{ J/K}$)
T	= Temperatur p-n junction (Kelvin)
α	= Konstanta ideal diode
V	= Tegangan arus (V)
V_t	= Tegangan termal (V)
R_s	= Hambatan sel seri (Ω)
R_p	= Hambatan sel paralel (Ω)
N_{ss}	= Jumlah modul dalam seri
N_{pp}	= Jumlah modul dalam paralel
T_{cell}	= Suhu Sel PV ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{ambient}$	= Suhu lingkungan ($^{\circ}\text{C}$)
N_{OCT}	= Suhu sel saat keadaan sel beroperasi ($^{\circ}\text{C}$)
G	= Solar iradiasi (W/m^2)
E_{DC}	= Keluaran energi DC harian dari array PV (kW h)
$P_{PV, rate}$	= Power PV rate (kWp)
E_{AC}	= Keluaran energi AC harian dari inverter (kW h)
H_t	= total solar iradiasi (kW h/m^2)
G_{STC}	= Total solar iradiasi dibawah standar kondisi pengujian (1 kW/m^2)
A	= Area dari array PV (m^2)
n'	= $n-(d+SD)$
d	= Ordo perbedaan bukan faktor musiman

D	<i>= Ordo pembedaan faktor musiman</i>
S	<i>= Jumlah periode per musim</i>
m	<i>= Lag waktu maksimum</i>
r_k	<i>= Autokorelasi untuk time lag 1, 2, 3, 4, ..., k</i>
Y_t	<i>= Nilai sebenarnya pada waktu ke-t</i>
\hat{Y}_t	<i>= Nilai dugaan pada waktu ke-t</i>
T	<i>= Banyaknya periode peramalan / dugaan</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada beberapa dekade terakhir, penggunaan energi matahari menjadi salah satu sumber energi alternatif yang menjanjikan bagi energi yang tidak dapat di daur ulang. Penggunaan energi matahari meningkat dengan pesat, dengan pada tahun 2012 terjadi peningkatan penggunaan energi matahari sebesar 12% dan kapasitas produksi hingga mencapai 32.34 gigawatt di seluruh dunia pada tahun 2012 [1]. Energi matahari menjadi salah satu energi alternatif yang paling banyak digunakan, hal itu dikarenakan energi matahari tidak menghasilkan emisi, ramah lingkungan, dan merupakan sumber penghasil listrik yang aman [2]. Hal tersebut menjadikan sumber energi yang berasal dari matahari merupakan salah satu sumber energi yang berharga.

Photovoltaik (PV) merupakan salah satu media yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Dikarenakan PV memanfaatkan energi matahari sebagai sumber tenaga, maka bisa dipastikan bahwa keunggulan PV yaitu sebagai pembangkit listrik yang bebas emisi dan ramah lingkungan. Namun, PV juga mempunyai kekurangan seperti modal awal yang dikeluarkan untuk membangun sistem PV cukup tinggi [3]. Dan juga mudah terganggu oleh gangguan yang terdapat di lingkungan sekitar sistem PV seperti bayangan yang dapat menghalangi permukaan panel PV, intensitas cahaya matahari, dan juga temperatur lingkungan [2]. Gangguan yang terdapat pada lingkungan sekitar sistem PV dapat menyebabkan kinerja sistem PV tersebut tidak stabil dan dapat terjadi penurunan performa serta efisiensi dari sistem PV tersebut [3]. Hal ini diakibatkan karena kinerja dari sistem PV dipengaruhi oleh beberapa parameter meteorologi seperti suhu, kelembaban udara, dan radiasi matahari [4]. Tidak hanya faktor lingkungan dan parameter meteorologi, lokasi penempatan sistem PV juga mempengaruhi performa dan efisiensi dari sistem PV tersebut. Dari penelitian yang dilakukan di Britania Raya, penempatan sistem PV yang berada di dekat laut dapat

gangguan eksternal lain seperti kotoran burung camar yang menempel di permukaan panel PV sehingga dapat menyebabkan overheating di titik yang terkena kotoran [5]. Jika menempatkan sistem PV di daerah mempunyai cuaca yang cenderung kering dan kelembaban yang rendah seperti penelitian yang dilakukan di negara Aljazair, penurunan performa dan efisiensi disebabkan oleh tingginya suhu lingkungan yang dihasilkan serta kestabilan performa dan efisiensi dari sistem terjadi saat kondisi cuaca berawan [4]. Gangguan yang dialami hampir sama apabila penelitian dilakukan di negara yang memiliki iklim tropis seperti Malaysia [3,4].

Dari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, faktor cuaca merupakan salah satu gangguan terbesar yang dialami oleh sistem PV. Karena kinerja sistem PV sangat mudah dipengaruhi oleh perubahan keadaan cuaca (suhu, kelembaban, intensitas matahari) yang terdapat di lokasi sistem PV terpasang, terutama apabila lokasi bertempat di iklim tropis [2-4]. Dampak dari perubahan cuaca terhadap sistem PV yaitu tidak stabilnya performa yang dihasilkan dan nilai efisiensi yang tidak maksimal terlebih kondisi cuaca di negara yang beriklim tropis dapat berubah dengan cepat [2]. Perubahan cuaca yang tidak dapat diperkirakan juga dapat mempengaruhi hasil dari performa dan efisiensi dari sistem PV tersebut. Dengan memprediksi cuaca untuk waktu berikutnya dapat membantu memberi gambaran bagaimana pola perubahan cuaca yang akan terjadi di waktu yang akan datang dan dapat diketahui gambaran pengaruh cuaca tersebut terhadap sistem PV [6].

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi terkait dengan dampak perubahan cuaca di negara yang mempunyai iklim tropis terhadap sistem PV yang telah terpasang untuk mengetahui nilai maksimal dari performa dan efisiensi sistem PV, serta mengetahui dampak dari prediksi cuaca masa yang akan datang terhadap performa dan efisiensi sistem PV dengan mengambil studi kasus di kota Surabaya, Indonesia.

1.2. Rumusan Masalah

Masalah penelitian yang diangkat dalam pengerjaan tugas akhir ini antara lain:

1. Bagaimana pengaruh performansi sistem PV terhadap perubahan variabel cuaca kota Surabaya?
2. Bagaimana pengaruh prediksi variabel cuaca kota Surabaya terhadap performansi sistem PV?

1.3. Tujuan

Tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam pengerjaan tugas akhir ini antara lain:

1. Mengetahui pengaruh performansi sistem PV terhadap perubahan variabel cuaca kota Surabaya.
2. Mengetahui pengaruh prediksi variabel cuaca kota Surabaya terhadap performansi sistem PV.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem PV yang digunakan terbatas pada Sistem PV yang terpasang diatas gedung Pascasarjana Teknik Fisika ITS.
2. Parameter variabel cuaca yang digunakan dalam penelitian ini adalah iradiasi matahari dan suhu udara kota Surabaya.
3. Data cuaca yang akan digunakan mulai dari tanggal 1 Januari tahun 2011 hingga tanggal 31 Desember tahun 2016
4. Pengujian pengaruh perubahan cuaca kota Surabaya terhadap sistem PV dilakukan dengan menggunakan software MatLab 2013.
5. Simulasi sistem PV dilakukan dengan menggunakan beban lampu LED sebesar 100 Watt.
6. Peramalan variabel cuaca kota Surabaya dilakukan dengan menggunakan software Minitab 2017.

1.5. Sistematika Laporan

Secara sistematis, laporan tugas akhir ini tersusun dalam lima bab dengan penjelasan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika laporan dari tugas akhir.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi tentang teori-teori yang mendasari tugas akhir. Teori tersebut meliputi teori mengenai photovoltaik, jenis-jenis sistem photovoltaik, baterai lead-acid, solar charge controller, DC-AC inverter, pemodelan sistem photovoltaik, serta metode prediksi variabel cuaca yang akan digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini yaitu metode ARIMA.

BAB III Metodologi Penelitian

Pada bab ini dijelaskan tentang langkah-langkah tugas akhir dimulai dari studi literature, pengumpulan data berupa variabel cuaca yang akan digunakan pada penelitian ini, pemodelan sistem PV pada software Simulink, validasi hasil simulasi sistem PV, pemodelan matematis prediksi variabel cuaca, kemudian dilakukan validasi model matematis prediksi variabel cuaca hingga analisa data yang telah didapat dari penelitian ini.

BAB IV Analisa Data dan Pembahasan

Bab ini menunjukkan hasil simulasi beserta analisa hasil simulasi yang telah didapatkan selama pengerjaan tugas akhir.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini memaparkan kesimpulan dan saran terkait dengan tugas akhir yang telah dilaksanakan

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Photovoltaik

Photovoltaik atau biasa disebut dengan panel photovoltaik merupakan material semikonduktor yang mampu mengubah secara langsung energi matahari menjadi energi listrik. Efek photovoltaik pertama kali ditemukan oleh Henri Becquerel pada tahun 1839. Daya listrik yang dihasilkan berupa daya DC. Komponen dasar panel PV adalah sel surya, dimana satu sel surya menghasilkan tegangan output sebesar 0.5 – 0.6 V dan sangat sedikit peralatan yang bekerja pada tegangan tersebut. Maka panel PV terdiri dari banyak sel surya agar dapat meningkatkan keluaran tegangan yang dihasilkan [7].

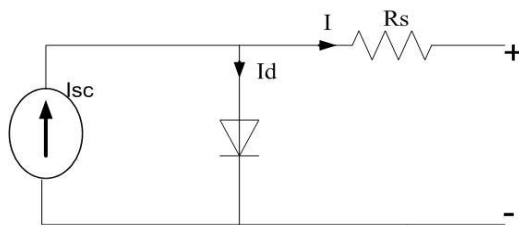


Gambar 2.1. Panel Photovoltaik

Cara kerja *photovoltaic* mirip dengan piranti semikonduktor dioda p-n junction yang memiliki 2 buah bahan semikonduktor, tipe-p dan tipe-n. Dengan menggunakan photo-electric effect dari bahan semikonduktor yang pada umumnya terbuat dari silikon (Si) dan Germanium (Ge), photovoltaic dapat langsung mengkonversi sinar matahari menjadi listrik searah (dc). Bila photovoltaik itu

dikenakan pada sinar matahari, maka timbul yang dinamakan elektron dan hole. Elektron-elektron dan hole-hole yang timbul di sekitar pn junction bergerak berturut-turut ke arah lapisan n dan ke arah lapisan p. Sehingga pada saat elektron-elektron dan hole-hole itu melintasi pn junction, timbul beda potensial pada kedua ujung photovoltaic. Jika pada kedua ujung photovoltaic diberi beban maka timbul arus listrik yang mengalir melalui beban.

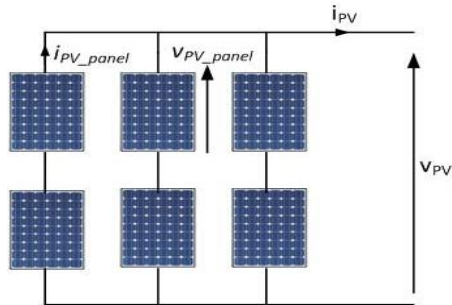
Photovoltaic dapat dimodelkan menjadi rangkaian ekivalen seperti gambar 2.1. Jika *photovoltaic* ideal, maka cukup dimodelkan dengan sumber arus yang parallel dengan dioda. Tetapi, pada kenyataannya tidak ada *photovoltaic* yang ideal di dunia nyata, maka ditambahkan resistansi seri (R_s) dan resistansi parallel (R_p) sebagai representasi *losses* pada *photovoltaic*. R_s merepresentasikan resistansi dari material semikonduktor dan R_p merepresentasikan rugi-rugi yang disebabkan oleh arus bocor yang menembus melalui lintasan resistif paralel ke peralatan. R_s memiliki nilai resistansi yang sangat kecil, sedangkan R_p memiliki nilai resistansi yang sangat tinggi [7]. Karena nilai R_p yang sangat tinggi, maka dapat diabaikan.



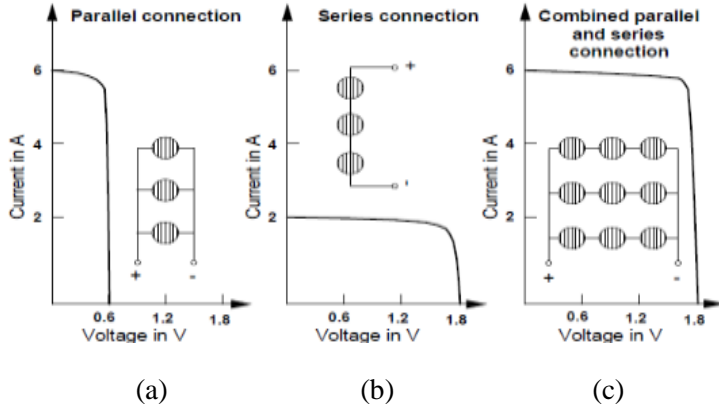
Gambar 2.2. Rangkaian Ekivalen Photovoltaik

Untuk meningkatkan output daya, sel *photovoltaic* digabungkan dalam paket yang disebut modul *photovoltaic*. Modul-modul ini kemudian dihubungkan secara serial dan / atau parallel satu sama lain, ke dalam apa yang disebut *array photovoltaic* untuk menciptakan tegangan yang diinginkan dan arus keluaran yang diperlukan. Ilustrasi penggambaran dari rangkaian seri parallel antara dua buah *photovoltaic* adalah seperti

gambar 2.4. Pemasangan *photovoltaic* dengan menghubungkan secara seri akan meningkatkan besar nilai tegangan, sedangkan pemasangan secara paralel akan meningkatkan besar arus [8]. Kurva I-V *photovoltaic* dengan pasangan seri ataupun paralel dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.3. Pemasangan Seri – Paralel Photovoltaik



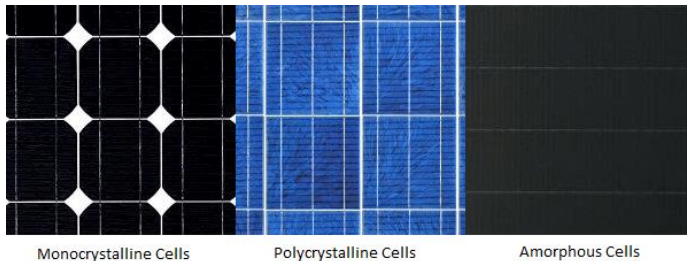
Gambar 2.4. Kurva I-V: (a) Pemasangan Paralel, (b) Pemasangan Seri, dan (c) Pemasangan Seri Paralel.

Daya yang dikeluarkan *photovoltaic* sangat terpengaruh oleh temperatur. Kenaikan temperatur pada *photovoltaic* dapat menyebabkan penurunan *rating photovoltaic*, atau yang biasa

disebut *derating*. *Derating* mengurangi daya output yang seharusnya dikeluarkan *photovoltaic*.

Terdapat 3 jenis panel PV yang banyak digunakan, yaitu:

- i. Panel silikon amorf yang terbuat dari bentuk *uncrystallized silicon* dan sering disebut *thin film silicon* (THS). Modul ini memiliki nilai efisiensi yang rendah sekitar 5%-8%.
- ii. Panel *monocrystalline silicon* ini seperti potongan wafer tipis dari kristal tunggal silikon untuk membentuk sel individu dan berwarna hitam kebiruan. Jenis modul ini memiliki efisiensi yang terbaik dan memiliki umur yang panjang.
- iii. Panel polycrystalline seperti wafer tipis yang dipotong dari beberapa blok silikon kristal. Modul PV jenis ini mudah dikenal oleh warna yang biasanya berwarna biru namun juga terdapat warna yang lain. Modul PV ini merupakan modul yang paling umum tersedia di pasaran.



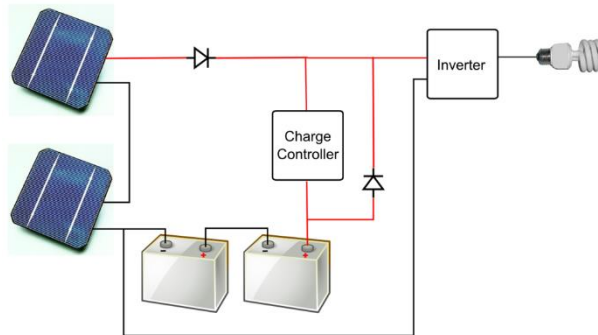
Gambar 2.5. Jenis Panel PV

2.2. Sistem Photovoltaik

Terdapat beberapa jenis sistem PV yang banyak digunakan di pasaran. Jenis-jenis sistem PV tersebut yaitu *standalone PV system*, *grid connected PV system with battery backup*, dan *hybrid PV power system* [7].

2.2.1. Stand Alone PV System

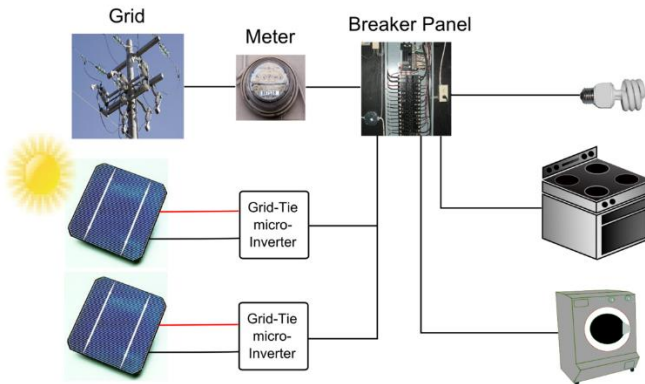
Standalone PV system merupakan sistem pembangkit listrik alternatif untuk daerah terpencil atau pedesaan yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik pusat. Sistem PV ini hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian modul PV untuk menghasilkan energi listrik sesuai dengan kebutuhan [7,9].



Gambar 2.6. Skema *Stand Alone* PV System

2.2.2. Grid Connected PV System

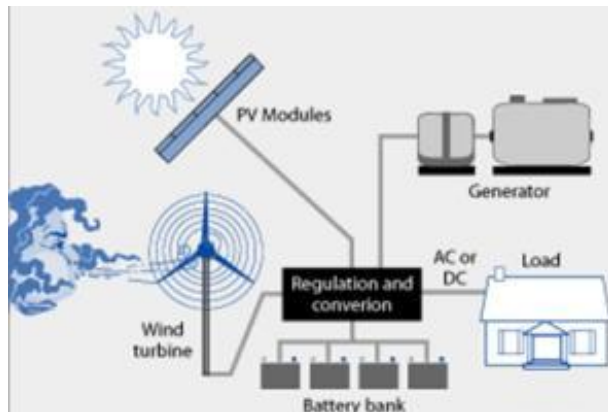
Grid connected PV system merupakan solusi energi bersih ramah lingkungan bagi penduduk perkotaan baik perumahan maupun perkantoran. Sistem PV ini menggunakan modul surya untuk menghasilkan listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi. Sistem PV ini tetap berhubungan dengan jaringan listrik pusat atau nasional dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi PV untuk menghasilkan energi listrik semaksimal mungkin. Pada siang hari, modul surya yang terpasang akan mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik dengan arus DC. Kemudian arus DC yang dihasilkan akan diubah menjadi arus AC dengan menggunakan inverter. Pada malam hari atau pada saat kondisi cuaca berawan maka peralatan akan disupport oleh jaringan listrik pusat atau nasional [8].



Gambar 2.7. Skema *Grid Connected PV System*

2.2.3. Hybrid PV Power System

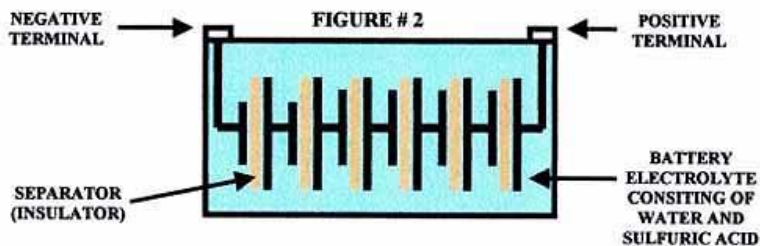
Hybrid PV power system lebih mengarah ke penggunaan dua atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda. Tujuan utama dari sistem ini pada dasarnya menggabungkan dua atau lebih sumber energi sehingga dapat saling menutupi kelemahan masing-masing dan dapat dicapai keandalan supply dan efisiensi ekonomis pada tipe beban (*load profile*) tertentu. *Load profile* adalah kata kunci yang penting dalam sistem PV hibrida [7]. Untuk setiap *load profile* yang berbeda, akan diperlukan sistem PV hibrida dengan komposisi tertentu agar dapat dicapai sistem yang optimal. Sistem PV hibrida dapat melibatkan 2 atau lebih sistem pembangkit listrik seperti sistem pembangkit yang banyak digunakan untuk hibrida adalah genset, sistem PV, mikrohidro, dan tenaga angin. Sistem PV hybrid secara skematis disajikan pada diagram berikut ini:

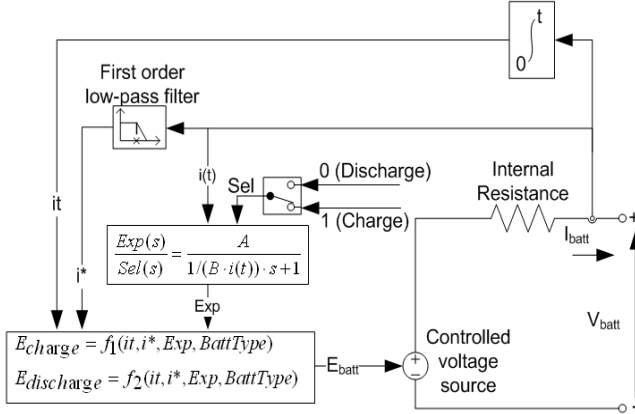


Gambar 2.8. Skema *Hybrid PV Power System*

2.3. Baterai *Lead-Acid*

Baterai *lead acid* salah satu jenis battery yang sering digunakan untuk menyimpan energi listrik. Baterai jenis ini sering digunakan karena harga yang lebih murah dibandingkan dengan battery jenis lain. Battery *lead acid* dapat dikelompokkan menjadi *Liquid Vented* dan *Sealed*. Proses penguapan atau evaporasi pada battery diatur oleh bagian yang disebut *valve* atau katup, maka dari itu disebut *valve regulated*. Dengan demikian battery jenis ini tidak memerlukan *maintenance*. Baterai ini cocok untuk sistem *photovoltaic*, karena dapat *discharge* sejumlah arus listrik secara konstan dalam waktu yang lama sehingga disebut pula battery *deep cycle*. Umumnya battery *deep cycle* dapat *discharge* sampai dengan 80% kapasitas baterai.



Gambar 2.9. Bagian Baterai Lead-Acid**Gambar 2.10.** Model Baterai Non-Linier

Pada model battery seperti gambar 2.10, persamaan untuk *controlled voltage source* adalah sebagai berikut [14]:

- *Discharge model* ($i^* > 0$):

$$f_1(i(t), i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q - i(t)} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - i(t)} \cdot i(t) +$$

$$\text{Laplace}^{-1} \left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)} \cdot 0 \right) \quad (2.1)$$

- *Charge Model* ($i^* < 0$):

$$f_1(i(t), i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{i(t) + 0.1 Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q - i(t)} \cdot i(t) +$$

$$\text{Laplace}^{-1} \left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)} \cdot 0 \right) \quad (2.2)$$

Sedangkan persamaan untuk mencari SOC baterai adalah sebagai berikut:

$$SOC = 100 \left(1 - \frac{1}{Q} \int_0^t i(t) dt \right) \quad (2.3)$$

Dimana:

E_{batt} = Nonlinear voltage (Volt)

E_0 = Constant voltage (Volt)

$Exp(s)$ = Exponential zone dynamics (V)

$Sel(s)$ = Battery mode. $Sel(s) = 0$, battery discharge;

$Sel(s) = 1$, battery charging

K	= <i>Polarization constant</i> (Ah^{-1}) / <i>Polarization resistance</i> (Ohms)
i^*	= <i>Low frequency current dynamics</i> (A)
i	= <i>Battery current</i> (A)
i_t	= <i>Extracted capacity</i> (Ah)
Q	= <i>Maximum battery capacity</i> (Ah)
A	= <i>Exponential voltage</i> (V)
B	= <i>Exponential capacity</i> (Ah^{-1})
i	= <i>Arus charging battery</i> (Amp)

Kapasitas baterai diukur dari jumlah arus yang dapat disimpan ataupun dikeluarkan oleh baterai. Satuan yang digunakan untuk menunjukkan kapasitas baterai adalah *ampere-hours* (Ah). Kapasitas dari sebuah baterai bukan kuantitas yang konstan, namun tergantung pada jumlah arus yang masuk atau keluar. Oleh karena itu, pabrikan selalu memberikan kapasitas nominal beserta referensi arus *charge* atau *discharge* tertentu.

2.4. Solar Charge Controller

Solar charge controller adalah sebuah peralatan yang dibutuhkan untuk memantau dan mengontrol pengisian baterai yang terhubung dengan *photovoltaic*. Fungsi utama dari peralatan ini adalah membatasi arus listrik yang masuk ke baterai. Hal tersebut perlu dilakukan untuk mencegah terjadinya *overcharging* (pengisian berlebih) dan melindungi battery dari fluktuasi tegangan, yang dapat menyebabkan pengurangan umur battery, performansi, atau bahkan menimbulkan suatu yang berbahaya.



Gambar 2.11. *Solar Charge Controller*

Solar charge controller terdiri dari sebuah konverter DC-DC yang dapat menaikkan ataupun menurunkan tegangan output *photovoltaic* sesuai dengan tegangan baterai. Konverter DC-DC adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengubah satu tingkat tegangan DC ke level tegangan DC yang lain. Perangkat konverter DC-DC ini dibutuhkan karena level tegangan DC tidak dapat dinaikkan atau diturunkan dengan mudah menggunakan transformator seperti tegangan AC. Dengan kata lain, konverter DC-DC adalah transformator untuk tegangan DC, karena memiliki fungsi yang sama dengan transformator pada tegangan AC, yaitu untuk mengubah tegangan input ke level tegangan yang berbeda.

Berdasarkan fungsi dari konverter DC-DC yang berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan level tegangan, maka jenis konverter DC-DC yang digunakan untuk *solar charge controller* adalah *buck-boost converter*. *Buck-boost converter* memiliki prinsip kerja gabungan dari *buck converter* dan *boost converter*, sehingga tegangan output *solar charge controller* ($V_{\text{solarcharge}}$) dapat lebih tinggi ataupun lebih rendah dari tegangan *photovoltaic* sesuai dengan tegangan baterai.

Prinsip yang seharusnya yaitu semua daya input pada konverter DC-DC diubah menjadi daya output dengan level tegangan yang berbeda tanpa mengubahnya ke energi yang lain pada tiap komponennya. Sehingga nilai arus output yang menuju battery ($I_{\text{solarcharge}}$) mengikuti tingkat tegangannya. Ketika tegangan

baterai meningkat, maka $I_{\text{solarcharge}}$ menurun dan sebaliknya, ketika battery menurun maka $I_{\text{solarcharge}}$ meningkat.

2.5. DC-AC Inverter

Solar inverter hanya terdapat pada arsitektur sistem Bus AC. Fungsi dari *solar inverter* hampir sama dengan *solar charge controller* pada sistem Bus DC yang tegangan outputnya menyesuaikan tegangan battery, namun tegangan output *solar inverter* menyesuaikan tegangan *grid*. *Solar inverter* merupakan rangkaian yang berfungsi untuk mengubah tegangan DC keluaran *photovoltaic* menjadi tegangan AC dengan frekuensi tertentu untuk dapat dialirkan ke *grid* ataupun peralatan lain yang membutuhkan tegangan input AC.



Gambar 2.12. DC-AC Inverter

Sumber tegangan input *inverter* dapat menggunakan battery, *photovoltaic*, atau sumber tegangan DC yang lain. Inverter bekerja menggunakan komponen semikonduktor yang beroperasi sebagai sakelar. Sebuah *solar inverter* ideal mengonversi semua daya input DC menjadi daya output AC tanpa ada daya yang terbuang menjadi panas (*losses*).

2.6. *Autoregressive Integrated Moving Average*

Autoregressive Integrated Moving Average atau biasa disebut ARIMA sering juga disebut sebagai metode runtun waktu Box-Jenkins. ARIMA sangat baik digunakan untuk peramalan jangka pendek karena ketepatannya. Sedangkan untuk peramalan jangka panjang ketepatan peramalannya kurang tepat. Biasanya akan cenderung konstan untuk periode yang cukup panjang [6].

Model ARIMA adalah model yang secara penuh mengabaikan independen variabel dalam membuat peramalan. ARIMA menggunakan nilai masa lalu dan sekarang dari variabel dependen untuk menghasilkan peramalan jangka pendek yang akurat. ARIMA cocok jika observasi dari deret waktu (*time series*) secara statistik berhubungan satu sama lain (*dependent*).

Model ARIMA terdiri dari tiga langkah dasar, yaitu tahap identifikasi, tahap penaksiran dan pengujian, dan tahap pemeriksaan diagnostic. Selanjutnya model ARIMA dapat digunakan untuk melakukan peramalan jika model yang diperoleh memadai [6].

2.6.1. Stasioneritas dan Nonstasioneritas

Hal yang harus diperhatikan adalah bahwa kebanyakan deret berskala akan bersifat nonstasioner dan bahwa aspek AR dan MA dari model arima hanya berkenaan dengan deret berkala yang stasioner [11].

Stasioneritas berarti tidak terdapat pertumbuhan atau penurunan pada data. Data secara kasarnya harus horizontal sepanjang sumbu waktu. Dengan kata lain, fluktuasi data berada di sekitar suatu nilai rata-rata yang konstan, tidak tergantung pada waktu dan varians dari fluktuasi tersebut pada pokoknya tetap konstan setiap waktu.

Suatu deret waktu yang tidak stasioner harus diubah menjadi data stasioner dengan melakukan differencing. Yang dimaksud dengan differencing adalah menghitung perubahan atau selisih nilai observasi. Nilai selisih yang diperoleh diperiksa kembali apakah nilai tersebut stasioner atau tidak. Jika belum stasioner

maka dilakukan differencing kembali. Jika varians tidak stasioner maka dilakukan transformasi logaritma.

2.6.2. Klasifikasi Model ARIMA

Model box-Jenkins (ARIMA) dibagi dalam tiga kelompok, yaitu model *autoregressive* (AR), *moving average* (MA), dan model campuran ARIMA (*autoregressive moving average*) yang mempunyai karakteristik dari dua model pertama [10-12]

- *Autoregressive Model* (AR)

Bentuk umum model AR dengan ordo p (AR(p)) atau model ARIMA (p,0,0) dinyatakan sebagai berikut:

$$X_t = \mu' + \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \dots + \phi_p X_{t-p} + e_t \quad (2.1)$$

Dimana:

μ' = Konstanta

ϕ_p = Parameter autoregresif ke-p

e_t = Nilai kesalahan pada saat t

- *Moving Average Model* (MA)

Bentuk umum model MA dengan ordo q (MA(q)) atau model ARIMA (0,0,q) dinyatakan sebagai berikut:

$$X_t = \mu' + e_t - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2} - \dots - \theta_q e_{t-k} \quad (2.2)$$

Dimana:

μ' = Konstanta

θ_q = Parameter moving average ke-q

e_{t-k} = Nilai kesalahan pada saat t - k

- Model Campuran

- a. Proses ARMA

Model umum untuk campuran proses AR(1) murni dan MA(1) murni, sebagai contoh ARIMA (1,0,1) dinyatakan sebagai berikut:

$$X_t = \mu' + \phi_1 X_{t-1} + e_t - \theta_1 e_{t-1}$$

Atau

$$(1 - \phi_1 B) X_t = \mu' + (1 - \theta_1 B) e_t$$

AR(1)

MA(1)

- b. Proses ARIMA

Apabila nonstasioneritas ditambahkan pada campuran proses ARMA, maka model umum ARIMA (p,d,q) akan terpenuhi.

Persamaan untuk kasus sederhana ARIMA (1,1,1) adalah sebagai berikut:

$$(1 - B)(1 - \phi_1 B)X_t = \mu' + (1 - \theta_1 B) e_t$$

Pemberdaan AR(1) MA(1)
pertama

2.6.3. Musiman dan Model ARIMA

Musiman didefinisikan sebagai suatu pola yang berulang-ulang dalam selang waktu yang tetap. Untuk data yang stasioner, faktor musiman dapat ditentukan dengan mengidentifikasi koefisien autokorelasi pada dua atau tiga time-lag yang berbeda nyata dari nol. Autokorelasi yang secara signifikan berbeda dari nol menyatakan adanya suatu pola dalam data. Untuk mengenali adanya faktor musiman, maka pola autokorelasi yang tinggi harus diperhatikan secara teliti [13]. Untuk menangani pola musiman, notasi umum yang singkat adalah:

$$\text{ARIMA } (p,d,q)(P,D,Q)^S \quad (2.3)$$

Dimana:

(p,d,q) = bagian yang tidak musiman dari model

(P,D,Q) = bagian musiman dari model

S = jumlah periode per musim

Persamaan umum diatas kemudian dapat dijabarkan menjadi persamaan berikut:

$$\phi_p(B)\phi_P(B^S)(1-B)^d(1-B^S)^D Z_t = \theta_q(B)\theta_Q(B^S)a_t \quad (2.4)$$

Dimana:

$\phi_p(B)$ = $(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_P B^{PS})$

$\phi_P(B^S)$ = $(1 - \phi_1 B^S - \phi_2 B^{2S} - \dots - \phi_P B^{PS})$

$(1-B)^d$ = Ode differencing non musiman

$(1-B^S)^D$ = Orde differencing musiman

$\theta_q(B)$ = $(1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_P B^{PS})$

$\theta_Q(B^S)$ = $(1 - \theta_1 B^S - \theta_2 B^{2S} - \dots - \theta_P B^{PS})$

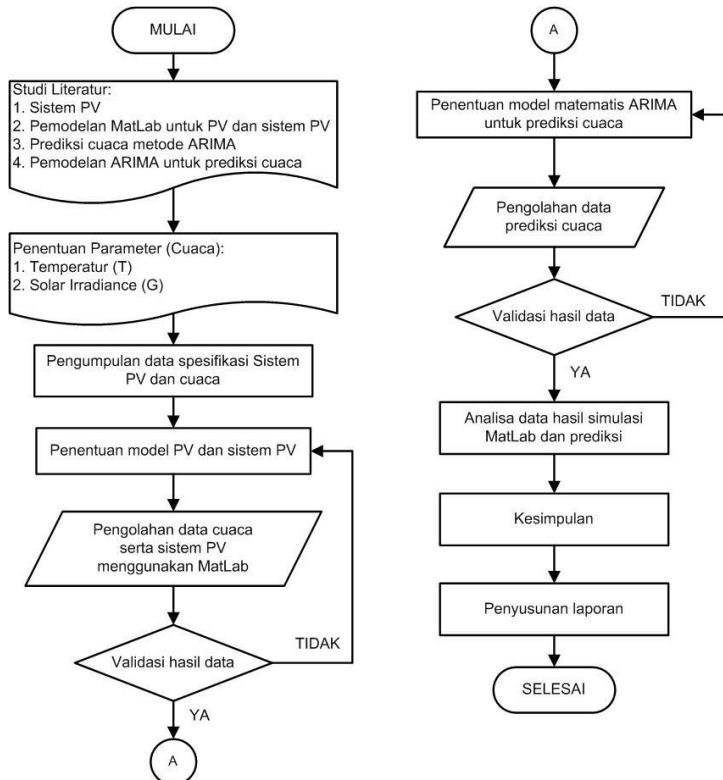
Z_t = $Z_{t-\mu}$

Metode ARIMA merupakan metode yang tidak melibatkan variabel prediktor dan merupakan salah satu metode stokastik yang sangat bermanfaat untuk membangkitkan proses data dalam bentuk deret waktu dimana setiap kejadian saling berkorelasi [13].

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian pada tugas akhir ini dirancang pada beberapa tahapan, yang digambarkan pada diagram alir seperti pada berikut:



Gambar 3.1. Skema Diagram Alir Penelitian

3.1. Studi Literatur

Studi literatur dimaksud untuk membangun pemahaman awal hingga mendalam secara teoritis terhadap materi yang mendukung pada penelitian tugas akhir ini. Studi literatur ini diperlukan untuk

menunjang kegiatan tugas akhir ini agar dapat berjalan dengan lancar. Studi literatur yang dilakukan berasal dari beberapa sumber buku dan jurnal. Adapun yang dipelajari dalam studi literatur ini yaitu tentang sistem PV, perhitungan performansi dan efisiensi dari sistem PV, pengaruh cuaca terhadap kinerja PV, prediksi cuaca dan penggunaan Matlab. Studi literatur ini akan terus dilakukan seiring dengan dilakukannya pengerjaan tugas akhir.

3.2. Pengumpulan Data

Setelah dilakukan proses studi literatur, maka dapat memulai mengambil data yaitu berupa data cuaca dan spesifikasi sistem PV yang akan digunakan. Data cuaca yang digunakan merupakan data cuaca kota Surabaya dari tahun 2011 hingga tahun 2016 yang didapat dari stasiun cuaca Bandar Udara Juanda dan NASA *Prediction of Worldwide Energy Resource* (POWER) dengan parameter data cuaca yang diamati yaitu temperatur (T) dan iradiasi matahari (G). Data spesifikasi sistem PV didapatkan dari sistem yang terpasang di atas gedung Pascasarjana Teknik Fisika ITS.



Gambar 3.2. Sistem PV di Atas Gedung Pascasarjana Teknik Fisika ITS

Nilai iradiasi matahari secara perhitungan teoritis pada lokasi kota Surabaya juga digunakan untuk mengetahui perbedaan iradiasi matahari yang didapatkan dari data aktual dan dibandingkan dengan nilai iradiasi matahari yang didapatkan secara perhitungan teoritis. Nilai iradiasi matahari tersebut dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_o = I_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{N}{365} \times 360^\circ \right) \right] \quad (3.1)$$

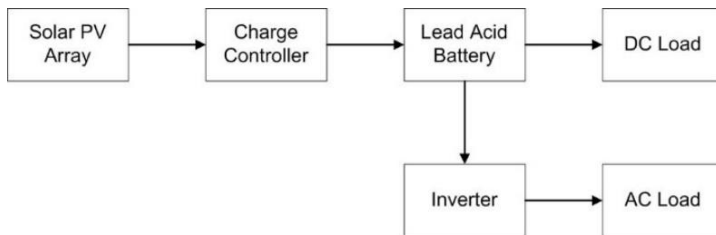
Dimana:

I_{sc} = solar constant (1.3661 kW/m^2)

N = jumlah hari dalam satu tahun

3.3. Pemodelan Sistem PV

Pemodelan sistem PV dilakukan setelah mengumpulkan semua data yang diperlukan. Dalam mengolah data yang diinginkan, digunakan *software* MatLab Simulink untuk membantu proses pemodelan sistem PV. Pemodelan dilakukan berdasarkan diagram blok sistem PV berikut ini:



Gambar 3.3. Diagram Blok Sistem PV

3.3.1. Model Matematis dan Spesifikasi Array PV

Pertama dibuat model matematis dari sistem PV yang akan digunakan. Pemodelan sistem PV yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$I = I_{sc,cell} - I_{o,cell} \left[\exp \left(\frac{qV}{\alpha kT} \right) - 1 \right] \quad (3.2)$$

Dimana:

I = Array Current (A)

- $I_{sc, cell}$ = *Photo Generated Current (A)*
 I_o = *Reverse Current (A)*
 q = *Electron Charge* ($1.60217646 \times 10^{-19}$ C)
 k = *konstanta boltzmann* ($1.3806503 \times 10^{-23}$ J/K)
 T = *Temperatur p-n junction* (Kelvin)
 α = *konstanta ideal diode*

Persamaan (3.2) merupakan persamaan dasar yang didapat dari teori semikonduktor yang secara matematis menjelaskan karakteristik I-V dari sel PV yang ideal. Namun persamaan (3.2) belum cukup merepresentasikan karakteristik I-V dari PV array. PV array terdiri dari beberapa sel PV yang terhubung dan pengamatan karakteristik dari array PV tersebut membutuhkan parameter dasar yang dimasukkan ke persamaan (3.2) sehingga menjadi [8]:

$$I = I_{sc} - I_o \left[\exp \left(\frac{V + R_s I}{V_t \alpha} \right) - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_p} \quad (3.3)$$

$$I = I_{sc} N_{pp} - I_o N_{pp} \left[\exp \left(\frac{V + R_s \left(\frac{N_{ss}}{N_{pp}} \right) I}{V_t \alpha N_{ss}} \right) \right] - \frac{V + R_s \left(\frac{N_{ss}}{N_{pp}} \right) I}{R_p \left(\frac{N_{ss}}{N_{pp}} \right)} \quad (3.4)$$

Dimana:

- V = *Tegangan arus (V)*
 V_t = *Tegangan termal (V)*
 R_s = *Hambatan sel seri (Ω)*
 R_p = *Hambatan sel paralel (Ω)*
 N_{ss} = *Jumlah modul dalam seri*
 N_{pp} = *Jumlah modul dalam paralel*

Dengan semua nilai sama terhadap persamaan cell kecuali V , yang dimana nilai V akan ditentukan dengan jumlah dari cell seri.

Kemudian nilai I_{sc} dan I_o akan diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_{sc} * I_T = I_{sc} * I_{Tref} * [1 + a * (T - T_{ref})] \quad (3.5)$$

Dimana nilai I_{sc} pada saat temperatur operasi dapat ditemukan dalam *datasheet* PV yang digunakan. Untuk mencari nilai I_o pada temperature operasi dapat menggunakan persamaan berikut:

$$I_o(T) = I_o(T_{ref}) * \left(\frac{T}{T_{ref}}\right)^{\frac{3}{n}} * e^{-\left[q * \frac{V}{n * k}\right] * \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right]} \quad (3.6)$$

Persamaan tersebut akan menjadi dasar dalam memodelkan satu panel PV, dan kemudian setiap panel PV mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3.1. Spesifikasi Panel PV

Daya Nominal (<i>Rated Power</i>) - P _{MPP}	230 Wp
Arus Max (<i>Rated Current</i> - I _{MPP})	7,82 A
Tegangan Max (<i>Rated Voltage</i> - V _{MPP})	29,54 V
Arus Short Circuit (I _{SC})	8,34 A
Tegangan Short Circuit (V _{OC})	36,66 V
Efisiensi PV (pada STC – Standart Test Conditions)	14,13 %
Kondisi Operasional Normal (NOTC)	47 ± 2°C
Tegangan Sistem Maksimal (V)	1000 V
Toleransi Performa	± 2 %
Range Suhu	-40 ~ 85 °C
Temperature coefficient (Voc)	-0.123 V/°C
Temperature coefficient (Isc)	+0.05%/°C
Tipe Solar Cell	Poly-crystalline
Dimensi (Panjang * Lebar * Tinggi)	1,651 * 986 * 46 mm
Socket	Plastik (MCA), IP65
Kabel	4 mm2 solar cable, Panjang 1 m

Pada sistem PV yang terpasang, terdapat 6 panel PV terpasang secara seri. Maka dari itu, pada sistem PV yang terpasang, array PV sistem tersebut terdiri dari 6 panel yang terpasang secara seri dan mempunyai 1 string.

3.3.2. Model Matematis & Spesifikasi Baterai Lead-Acid

Model matematis baterai lead-acid dilakukan sebelum melakukan pemodelan pada software Simulink. Pemodelan baterai dilakukan dengan melakukan pemodelan kapasitas baterai terlebih dahulu, dengan menggunakan model matematis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_T &= xnF \\ &= 0.278F \frac{n.m_R}{M_M} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Dimana:

- Q_T = Kapasitas Baterai (Ah)
- x = Jumlah mol dari komponen reaktan
- n = Jumlah electron yang dihasilkan oleh elektroda
- m_R = Jumlah Massa Reaktan (Kg)
- M_M = Jumlah Massa Molar Reaktan (g/mol)
- F = $L.e_0 = 96412 \text{ C/mol}$
- L = Jumlah Molekul atau Atom dalam Mole
- e_0 = Muatan Elektron

Setelah melakukan pemodelan kapasitas baterai, maka pemodelan matematis baterai dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V_0 = V_p - \left(R_b + \frac{K}{SOC} \right) I_b \quad (3.9)$$

Dimana:

- V_0 = Terminal Tegangan Tanpa Beban (V)
- K = Konstanta Polarisasi (0.1)
- SOC = State of Charge

Pemodelan baterai dilakukan berdasarkan baterai yang digunakan pada sistem PV. Baterai yang digunakan yaitu jenis gel dengan tegangan 12volt DC, dan kapasitas 200 AH. Baterai disusun secara seri dengan total dua buah baterai.

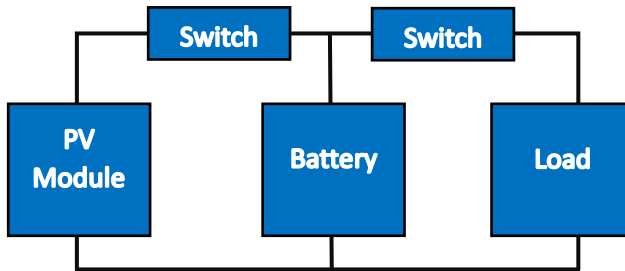
Tabel 3.2. Spesifikasi Baterai

Tegangan Nominal (Rated Voltage)	12 V
Kapasitas (Rated Capacity)	200 Ah
Jumlah cell (per unit)	6
Jenis Battery	VRLA Gel
Laju rata2 discharge tanpa load (average self discharge rate)	$\leq 3\%$ per bulan (pada suhu 25°C)
Arus Discharge Maksimal (Maximum discharge current)	1800A (5 detik) pada suhu 25°C
Jumlah terminal (polaritas + & -)	2 Pasang
Suhu operasional	Discharge : -15~50°C Charge: 0~40°C Penyimpanan: -15~40°C
Float charging Voltage	13.5 to 13.8 VDC/unit Rata- rata pada 25 °C
Equalization and Cycle Service	14.4 to 15.0 VDC/unit Rata- rata pada 25 °C
Dimensi (p x l x t)	522 * 240 * 218 mm
Berat	68.3 Kg
Hambatan dalam (Internal Resistance)	3.4 m ohm
Terminal	T11
Rekomendasi Arus Charge	50 A

Tabel spesifikasi baterai tersebut akan dijadikan parameter untuk memodelkan VRLA baterai yang sesuai digunakan pada sistem PV yang terpasang.

3.3.3. Model Matematis dan Spesifikasi *Solar Charge Controller*

Charger controller dibutuhkan dalam sistem PV untuk menjaga kondisi baterai tidak *overcharged* atau *undercharged*. *Charger controller* ditujukan untuk menjaga usia baterai agar tidak cepat rusak. Pemodelan *controlled charged* dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 3.4. Diagram blok dari controller charge

Charge controller yang digunakan telah menggunakan fitur *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) sehingga proses pengisian baterai dari panel PV lebih optimal dibandingkan charge controller tanpa menggunakan MPPT. Pemodelan solar charge controller dengan fitur MPPT dilakukan dengan melalui tahapan sebagai berikut:

- DC-DC Converter

$$D = \frac{V_o}{V} \quad (3.10)$$

Dimana:

V = Input Tegangan Converter

V_o = Output Tegangan Converter

D = Duty Cycle

Berdasarkan teori perpindahan daya maksimal, persamaan hambatan tersebut harus sesuai dengan hambatan R_s dari solar cell untuk mendapatkan nilai perpindahan daya yang maksimal. Persamaan load resistance dari konverter dapat dijelaskan pada persamaan berikut:

$$R_{eq} = \frac{\eta R_L}{D^2} \quad (3.11)$$

Dan karenanya,

$$V = \left(\frac{\eta R_L}{D^2} \right) I \quad (3.12)$$

Dimana:

η = Efisiensi Converter

R_L = Hambatan beban

R_{eq} = Beban Impedansi

Berdasarkan persamaan 3.x, duty cycle diatur untuk menyesuaikan beban impedansi menuju beban sumber (R_s). Beban impedansi berbanding terbalik dengan dua kalinya duty cycle. Berdasarkan persamaan karakteristik sel surya, depedansi dari arus panel dan daya atas duty cycle dari converter ditunjukkan dalam persamaan sebagai berikut:

$$I = I_L - I_o \left\{ \exp \left[\frac{q\eta R_L^I}{AkTD^2} \right] - 1 \right\} \quad (3.13)$$

Dan

$$P = I_L \left(\frac{\eta R_{LOAD}}{D^2} \right) - I_o \left(\frac{\eta R_{LOAD}}{D^2} \right) \left\{ \exp \left[\frac{q\eta R_{LOAD}^I}{AkTD^2} \right] - 1 \right\} \quad (3.14)$$

- Algoritma MPPT

Persamaan 3.8 dan 3.9 menunjukkan bahwa hubungan antara ketersediaan daya dari panel dan dari duty cycle. Cara paling efektif untuk menemukan duty cycle adalah dengan menggunakan algoritma Perturb & Observe (P&O). Algoritma ini adalah salah satu algoritma standar pada industry dan keunggulannya yaitu mudah dalam realisasi pada software maupun hardware. Maximum Power Point dicari dengan mengubah duty cycle dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$D(k) = D(k-1) \pm C \quad (3.15)$$

Dimana:

$D(k)$ = Duty Cycle pada saat ke k

$D(k-1)$ = Duty cycle pada saat ke k-1.

$(k-1)$ = Sampling Instant

Pemodelan solar charge controller dilakukan berdasarkan kontroller yang digunakan pada sistem PV. Spesifikasi solar charge

controller yang digunakan pada sistem PV dijelaskan dalam tabel dibawah berikut:

Tabel 3.3. Tabel Spesifikasi Solar Charge Controller

Tegangan Output Maksimal	80 A secara kontinyu pada suhu lingkungan sampai dengan 45°C
Sistem Tegangan Baterai yang digunakan	12, 24, 36 dan 48 Vdc
Arus Input PV Maksimal	70 A
Range tegangan input	16 – 112 Vdc (140 Vdc tegangan maksimal open circuit)
Daya PV array maksimal	5200 watt
Mode Charging baterai	Bulk, Absorption, Float, Standby, Auto Equalization dan Manual Equalization
Suhu Baterai	6 mV tiap °C tiap volt cell
Display	LCD dengan indicator: V & I input (PV), V & I output, Mode charging, State of Charge Battery
Daya saat standby	2 Watt
Dimensi (Panjang * Lebar * Tinggi)	38.7 * 21.6 * 11.1 cm
Berat	7,3 Kg
Fitur MPPT	

3.3.4. Pemodelan Inverter

Pada pemodelan inverter, kapasitas yang digunakan yaitu maksimal 8kW, dengan dua buah inverter yang dipasang secara paralel maka daya maksimum yang dapat dihasilkan yaitu 16kW.

Jenis inverter yang digunakan yaitu *bi-directional inverter*, yang dapat mengubah daya tidak hanya DC ke AC namun juga daya AC ke DC sehingga daya tersebut dapat digunakan untuk proses charging baterai selain menggunakan daya dari panel surya.

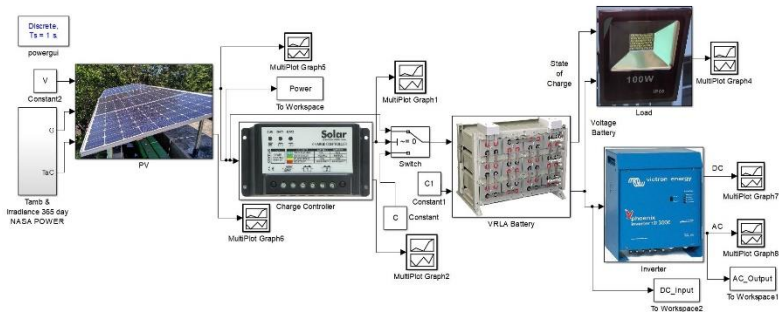
Pemodelan DC-AC Inverter dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

Tabel 3.4. Tabel Spesifikasi Inverter

Inputs tegangan AC	range Input tegangan: 187-265 VAC range Input frekuensi: 45 – 65 Hz
Arus maksimal yang dapat di supply	100 A
range tegangan input	9,5 – 17 V; 19 – 33 V; 38 – 66 V
Output	Tegangan Output: 230 VAC $\pm 2\%$ Frekuensi: 50 Hz $\pm 0,1\%$
Daya output kontinyu pada 25 °C	8000 VA
Daya output kontinyu pada 25 °C	7000 W
Daya output kontinyu pada 40 °C	6300 W
Daya Puncak	16000 W
Efisiensi Maksimum	94 %
Berat	45 kg
Dimensi (Panjang * Lebar * Tinggi)	470 x 350 x 280 mm

3.3.5. Pemodelan Keseluruhan Sistem PV

Berdasarkan model matematis yang telah dilakukan, maka pemodelan sistem PV dapat dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab Simulink untuk mendapatkan hasil performa yang terdapat dalam sistem PV tersebut.



Gambar 3.5. Pemodelan Sistem PV dalam *Software* MatLab Simulink

3.4. Validasi Data Simulasi Sistem PV

Validasi dari hasil simulasi Simulink dilakukan dengan cara membandingkan antara nilai yang terdapat pada datasheet panel PV dengan hasil simulasi dengan menggunakan parameter pada saat kondisi standar dengan input nilai iradiasi sebesar 1 kW/m^2 dan suhu sebesar 25°C . Hasil validasi yang didapatkan dari simulasi dapat dilihat pada tabel

Tabel 3.5. Hasil Validasi panel PV

Nilai Keluaran PV	Unit	Datasheet	Simulasi	Error
Arus Short Circuit (I_{sc})	Ampere (A)	8.34	9.2	9.35%
Daya Nominal (P_{mpp})	Watt peak (Wp)	230	235.5	2.34%

3.5. Perhitungan Performa dan Efisiensi Sistem Photovoltaik

Analisa pengaruh dari kondisi cuaca yang terdapat di lokasi pemasangan sistem PV dilakukan agar dapat diketahui bagaimana pengaruhnya terhadap sistem. Analisa performansi dan efisiensi dari sistem PV menggunakan beberapa persamaan seperti berikut [4,8]:

- *Array Yield*

$$Y_F = \frac{E_{DC}}{P_{PV,rate}} \quad (3.7)$$

- *Reference Yield*

$$Y_R = \frac{H_t}{G_{STC}} \quad (3.8)$$

- *Final Yield*

$$Y_F = \frac{E_{AC}}{P_{PV,rate}} \quad (3.9)$$

- *PV Array Efficiency*

$$\eta_{PV} = \left(\frac{E_{DC}}{H_t A} \right) \times 100\% \quad (3.10)$$

- *Inverter Efficiency*

$$\eta_{inv} = \left(\frac{E_{AC}}{E_{DC}} \right) \times 100\% \quad (3.11)$$

- *System Efficiency*

$$\eta_{sys} = \left(\frac{E_{AC}}{H_t A} \right) \times 100\% \quad (3.12)$$

- *Performance Rate*

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (3.13)$$

- *Array Capture dan System Loss*

$$L_{capture} = Y_R - Y_A \quad (3.14)$$

$$L_{loss} = Y_A - Y_F \quad (3.15)$$

Dimana:

E_{DC} = Keluaran energi DC harian dari array PV
(kW h)

$P_{PV,rate}$ = Power PV rate (kWp)

E_{AC} = Keluaran energi AC harian dari inverter
(kW h)

H_t = Total solar iradiasi (kW h/m²)

G_{STC} = Total solar iradiasi dibawah standar kondisi
pengujian (1 kW/m²)

A = Area dari array PV (m²)

Dikarenakan pengaruh suhu lingkungan juga termasuk dalam parameter cuaca, maka pengukuran suhu sel PV juga diperlukan.

Hal itu dikarenakan untuk mengetahui pengaruh suhu lingkungan terhadap performansi dan efisiensi sistem PV. Perhitungan suhu sel PV dilakukan menggunakan persamaan berdasarkan model *Nominal Operating Cell Temperature* (NOCT) dengan sebagai berikut [4,8]:

$$T_{cell} = T_{ambient} + \frac{NOCT-20}{0,8} \times G \quad (3.16)$$

Dimana:

T_{cell} = Suhu Sel PV (°C)

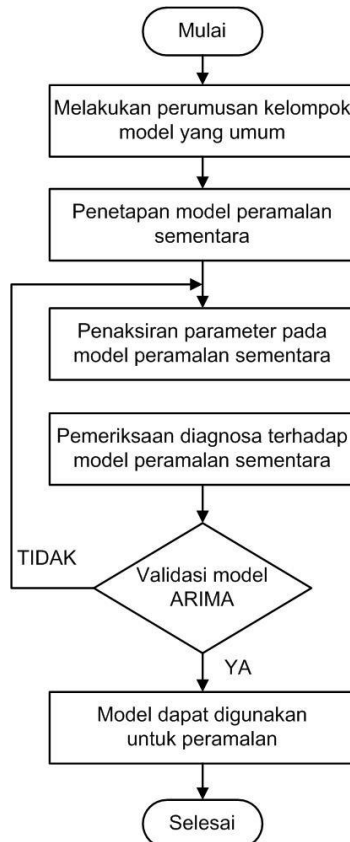
$T_{ambient}$ = Suhu lingkungan (°C)

$NOCT$ = Suhu sel saat keadaan sel beroperasi (°C)

G = Solar iradiasi (W/m²)

3.6. Penentuan Model Matematis untuk Prediksi Variabel Cuaca dengan Metode ARIMA

Pelaksanaan prediksi variable cuaca dilakukan ketika pemodelan sistem PV dinyatakan valid dan didapat hasil analisa performansi dan efisiensi sementara dari data variabel data yang sudah dikumpulkan. Prediksi variabel cuaca menggunakan metode *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA).



Gambar 3.6. Tahap Pelaksanaan Metode ARIMA

Terdapat 3 tahapan dalam melakukan prediksi variabel cuaca, yaitu identifikasi, penaksiran dan pegujian, dan penerapan.

3.6.1. Identifikasi

Proses identifikasi dari model tergantung pada alat-alat statik yang berupa autokorelasi dan parsial autokorelasi serta pengetahuan terhadap sistem yang dipelajari. Pada proses identifikasi dilakukan perumusan kelompok model peramalan

yang umum dan melakukan penetapan untuk model peramalan sementara.

3.6.2. Penaksiran dan Pengujian

Pelaksanaan penaksiran dilakukan dengan menggunakan dua cara yang mendasar untuk mendapatkan parameter-parameter tersebut:

- Dengan menggunakan cara *trial and error*, menguji beberapa nilai yang berbeda dan memilih satu nilai tersebut yang meminimumkan jumlah kuadrat nilai sisa
- Perbaikan secara iteratif, memilih taksiran awal dan kemudian membiarkan program computer memperhalus penaksiran tersebut secara iteratif

Kemudian dilakukan pengujian pada masing-masing model secara parsial (t-test) dan pengujian model secara keseluruhan (overall F test).

Model dikatakan baik jika nilai error bersifat random. Untuk melihat kerandoman nilai error dilakukan pengujian terhadap nilai koefisien autokorelasi dari error, dengan menggunakan salah satu dari dua statistik berikut:

- Uji Q box dan Pierce

$$Q = n' \sum_{k=1}^m r_k^2 \quad (3.17)$$

- Uji Ljung-Box

$$Q = n'(n' + 2) \sum_{k=1}^m \frac{r_k^2}{(n' - k)} \quad (3.18)$$

Menyebar secara Khi Kuadrat (χ^2) dengan derajat bebas (db) = (k-p-q-P-Q) dimana:

n' = $n - (d + SD)$

d = *Ordo pembedaan bukan faktor musiman*

D = *Ordo pembedaan faktor musiman*

S = *Jumlah periode per musim*

m = *Lag waktu maksimum*

r_k = *Autokorelasi untuk time lag 1, 2, 3, 4, ..., k*

kriteria pengujian:

Jika $Q \leq \chi^2_{(a,db)}$, berarti: nilai error bersifat random

Jika $Q > \chi^2_{(a,db)}$, berarti: nilai error tidak bersifat random

3.6.3. Penerapan

Untuk menentukan model yang terbaik dapat digunakan dengan menggunakan standard error estimate, dengan persamaan sebagai berikut:

$$S = \left[\frac{SSE}{n-n_p} \right]^{1/2} = \left[\frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{n-n_p} \right]^{1/2} \quad (3.19)$$

Dimana:

Y_t = Nilai sebenarnya pada waktu ke- t

\hat{Y}_t = Nilai dugaan pada waktu ke- t

Selain nilai standard error estimate, nilai rata-rata presentase kesalahan peramalan (MAPE) dapat juga digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan model yang terbaik yaitu:

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{|Y_t - \hat{Y}_t|}{Y_t}}{T} \times 100\% \quad (3.20)$$

Dimana:

T = Banyaknya periode peramalan / dugaan

3.7. Validasi Hasil Prediksi dengan Data Cuaca Aktual

Validasi hasil prediksi dilakukan dengan mengetahui besarnya error dalam melakukan prediksi. Hasil prediksi dibandingkan dengan data aktual, dimana data aktual yang digunakan yaitu data variabel cuaca tahun 2015 dan 2016.

3.8. Analisa Data

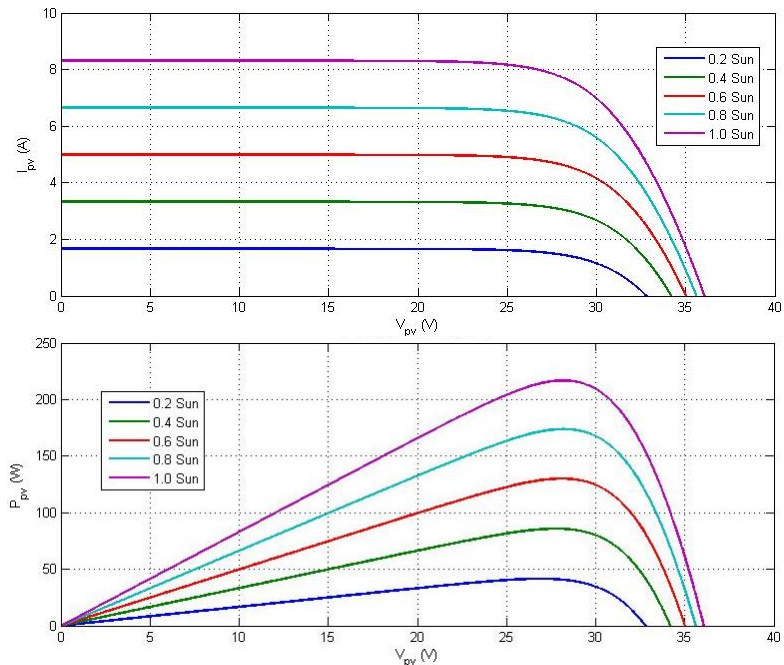
Data yang sudah didapat dari proses simulasi sistem PV menggunakan software MatLab Simulink dan sudah di validasi kemudian dianalisa berdasarkan teori yang terdapat pada tahap studi literatur. Analisa data yang dilakukan yaitu membahas pengaruh perubahan cuaca serta pengaruh prediksi cuaca terhadap performansi dan efisiensi dari sistem PV yang berdasarkan data perubahan suhu dan intensitas radiasi matahari kota Surabaya. Analisa efisiensi dan performansi dilakukan dengan menggunakan software Microsoft Excel untuk membantu perhitungan data.

Hasil analisa tersebut kemudian akan dijadikan pembahasan yang sesuai dengan permasalahan yang sudah ditentukan di awal kemudian akan dimasukkan dalam laporan tugas akhir.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

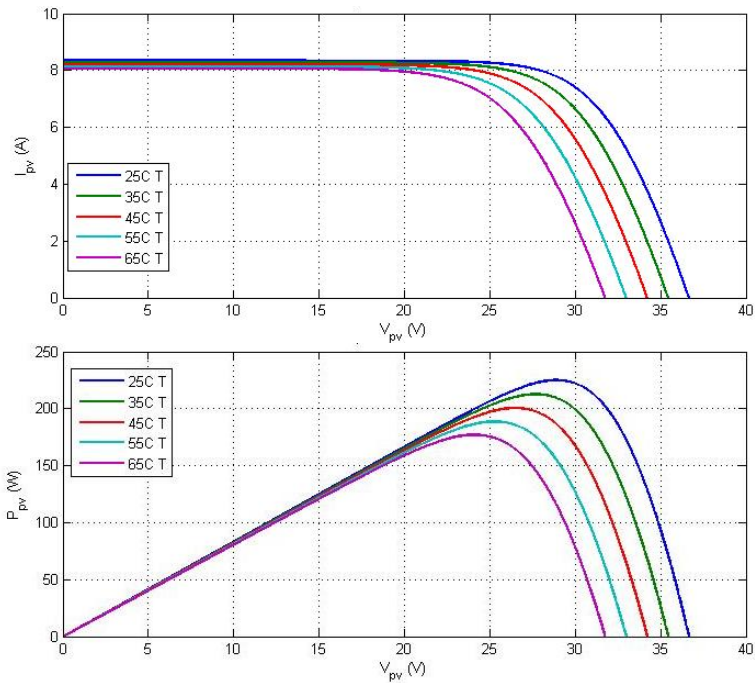
4.1. Simulasi Karakteristik Panel PV

Mengetahui nilai karakteristik panel PV perlu dilakukan sebelum melakukan simulasi sistem, karena dengan mengetahui nilai karakteristik suatu panel PV, maka dapat diketahui pula apakah panel tersebut dapat bekerja secara normal. Karakteristik suatu PV digambarkan dalam bentuk kurva I-V dan P-V. Kurva tersebut menggambarkan keadaan suatu PV beroperasi secara normal.



Gambar 4.1. Karakteristik Panel PV Berdasarkan Perbedaan Iradiasi Matahari

Gambar diatas menunjukkan dampak masukan nilai iradiasi matahari yang berbeda terhadap karakteristik panel PV. Dampak dari perubahan nilai iradiasi matahari tersebut terdapat pada nilai arus yang dihasilkan. Jika nilai iradiasi matahari semakin tinggi, maka arus yang dihasilkan oleh panel PV akan semakin tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa perubahan nilai iradiasi matahari memberikan dampak secara langsung terhadap nilai arus yang dihasilkan.



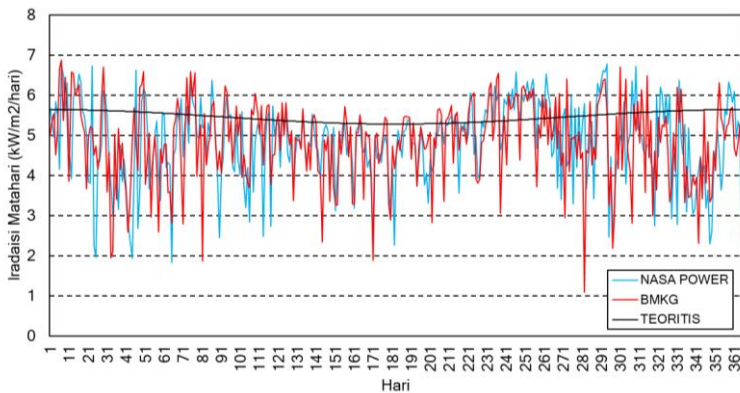
Gambar 4.2. Karakteristik Panel PV Berdasarkan Perbedaan Suhu

Gambar diatas merupakan karakteristik panel PV jika diberi nilai suhu yang berbeda-beda. Dampak dari perubahan nilai suhu tersebut terdapat pada nilai tegangannya, dimana semakin tinggi suhu yang dimasukkan, maka semakin rendah nilai tegangan yang

dihasilkan. Hal tersebut menunjukkan bahwa kenaikan suhu dapat mengakibatkan penurunan kinerja dari panel PV tersebut.

4.2. Nilai Irradiasi Matahari Kota Surabaya

Nilai iradiasi matahari untuk kota Surabaya pada tahun 2016 didapatkan dari berbagai sumber, yaitu dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), NASA *Prediction of Worldwide Energy Resource* (NASA POWER), serta iradiasi matahari berdasarkan perhitungan teoritis.



Gambar 4.3. Irradiasi Matahari Kota Surabaya Tahun 2016

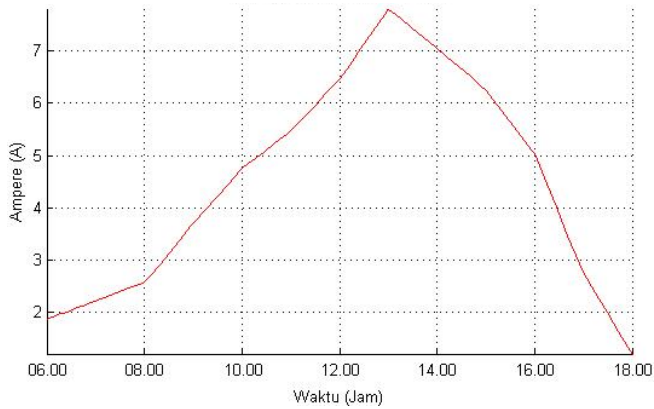
Data iradiasi matahari secara aktual menggunakan 2 sumber yang berbeda dimana hal tersebut bertujuan untuk mengetahui perbedaan yang akan didapatkan dalam hasil simulasi jika menggunakan data iradiasi matahari dari sumber yang berbeda. Perhitungan iradiasi matahari secara teoritis dilakukan untuk mengetahui nilai iradiasi matahari yang ideal menurut perhitungan matematis.

Berdasarkan gambar 4.3, terdapat persamaan yang tidak begitu identik antara data yang berasal dari BMKG dan NASA POWER, serta perbedaan diantara kedua data tersebut disebabkan oleh keakuratan masing-masing sumber dalam melakukan pengukuran data iradiasi matahari. Apabila membandingkan ketiga data iradiasi tersebut, terdapat perbedaan pola data antara iradiasi

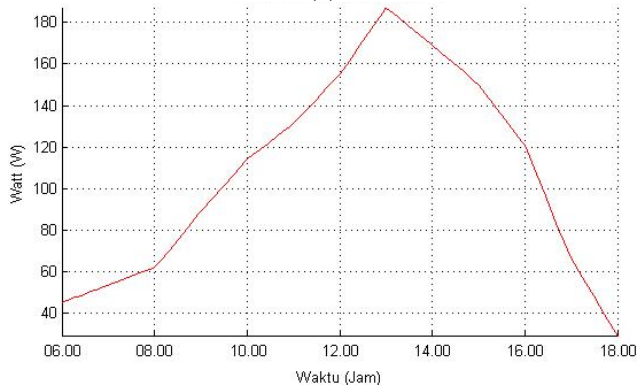
matahari teoritis dengan data BMKG dan NASA POWER. Hal tersebut diakibatkan karena nilai iradiasi teoritis tidak memperhitungkan dampak bayangan yang disebabkan oleh beberapa faktor, seperti keadaan awan. Berbeda dengan data BMKG dan NASA POWER, data yang didapatkan berdasarkan keadaan aktual sehingga data tersebut dapat dikatakan dipengaruhi oleh pergerakan awan dan bayangan yang terdapat pada lokasi pengukuran.

4.3. Hasil Simulasi Terhadap Array PV

Simulasi terhadap Array PV yang terdapat dalam sistem dilakukan dengan menggunakan beberapa variasi data iradiasi matahari dan suhu. Variasi data tersebut diperuntukkan agar dapat mengetahui pengaruh terhadap variasi data yang berbeda. Pada simulasi pertama menggunakan data pengukuran di lokasi sistem PV. Data yang digunakan berdasarkan pengukuran dari pukul 06.00 WIB hingga 18.00 WIB. Hasil dari simulasi data pengukuran adalah sebagai berikut.



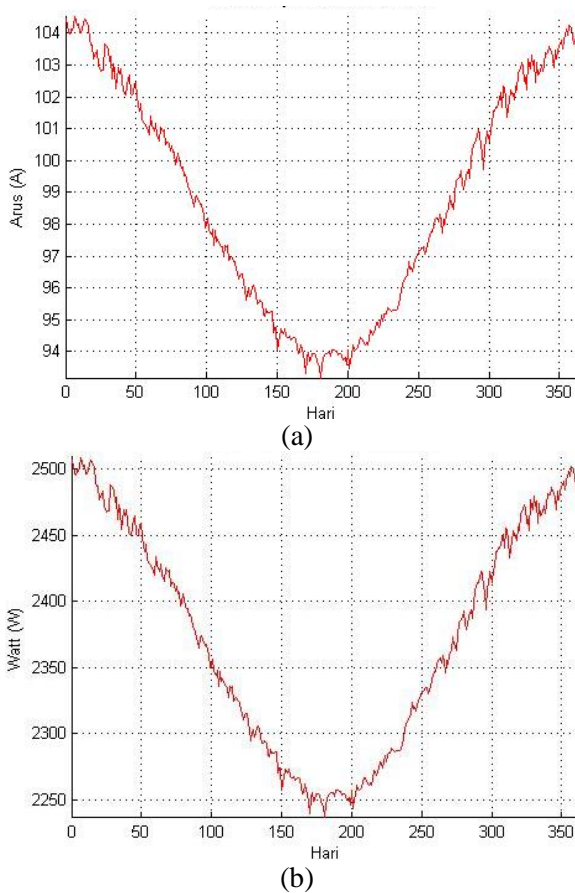
(a)



(b)

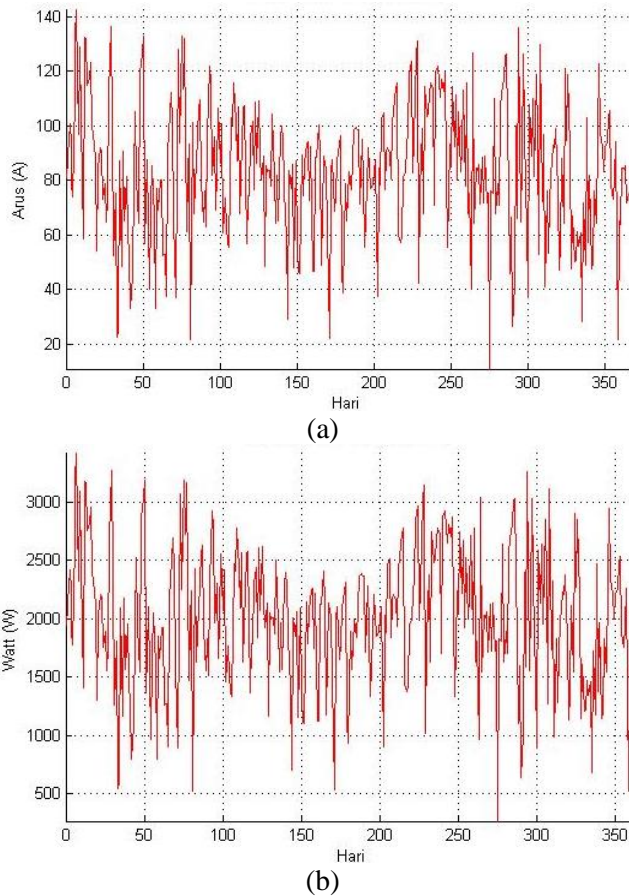
Gambar 4.4. (a) Arus Keluaran Array PV (b) Daya Keluaran Array PV

Penggunaan data pengukuran bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh iradiasi matahari berdasarkan lama intensitas penyinaran matahari. Setelah dilakukan simulasi menggunakan data pengukuran, maka dilakukan simulasi menggunakan data perhitungan iradiasi matahari dengan menggunakan perhitungan teoritis selama satu tahun



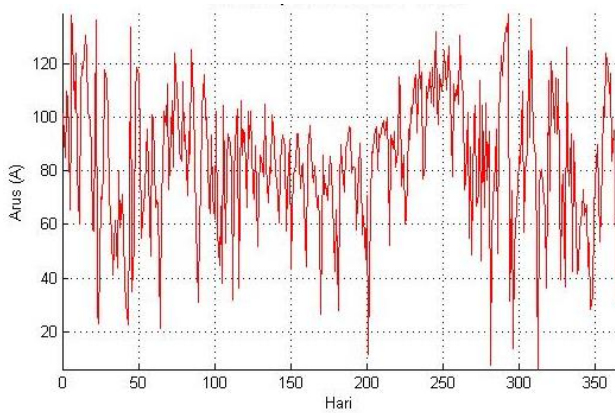
Gambar 4.5. (a) Arus Keluaran Array PV Iradiasi Teoritis (b) Daya Keluaran Array PV Iradiasi Teoritis

Hasil simulasi dengan menggunakan data iradiasi teoritis bertujuan untuk mengetahui pengaruh nilai iradiasi yang ideal berdasarkan lokasi kota Surabaya selama satu tahun. Setelah dilakukan simulasi dengan menggunakan data perhitungan iradiasi teoritis, maka dilakukan simulasi dengan menggunakan data yang berasal dari stasiun cuaca BMKG Juanda. Hasil simulasi dengan menggunakan data BMKG Juanda adalah sebagai berikut

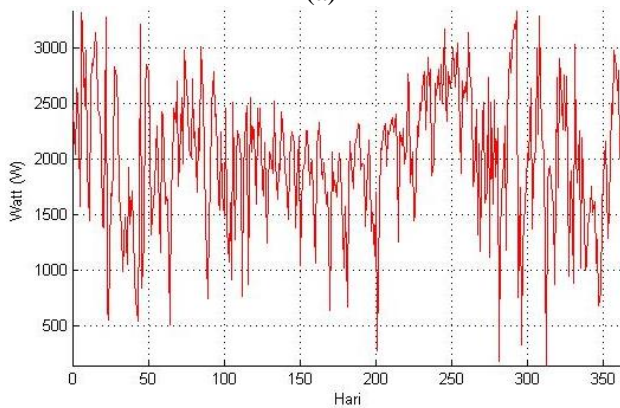


Gambar 4.6. (a). Arus Keluaran Array PV Data BMKG (b).
Daya Keluaran Array PV Data BMKG

Setelah simulasi dengan menggunakan data BMKG Juanda telah dilakukan, maka kemudian dilakukan simulasi menggunakan data yang berasal dari *NASA Prediction of Worldwide Energy Resource* (NASA POWER). Hasil simulasi berdasarkan data NASA POWER adalah sebagai berikut



(a)



(b)

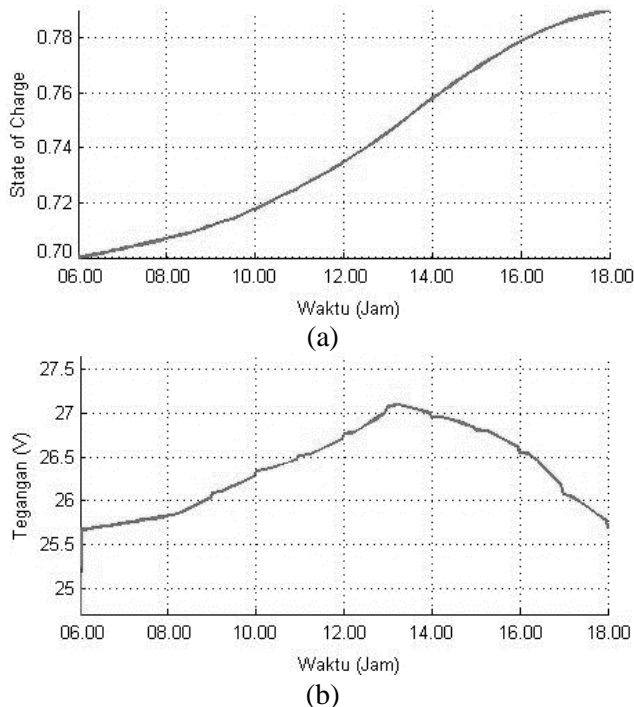
Gambar 4.7. Arus Keluaran Array PV Data NASA POWER (b).
Daya Keluaran Array PV Data NASA POWER

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, diketahui bahwa setiap keluaran arus dan daya yang berasal dari array PV sangat dipengaruhi oleh nilai iradiasi matahari yang dimasukkan sebagai masukan untuk sistem PV. Dari 4 simulasi yang telah dijalankan dengan menggunakan data iradiasi matahari yang berbeda, ditemukan bahwa semua grafik yang dihasilkan mengikuti pola

iradiasi, dengan nilai grafik yang dihasilkan bergantung dengan nilai iradiasi matahari dan suhu yang dimasukkan.

4.4. Hasil Simulasi Terhadap Baterai

Simulasi terhadap baterai yang terpasang dalam sistem dilakukan agar mengetahui pengaruh nilai masukan sistem, yaitu iradiasi matahari dan suhu terhadap nilai yang dihasilkan dalam simulasi terhadap baterai. Simulasi pertama dilakukan dengan menggunakan data pengukuran iradiasi matahari.

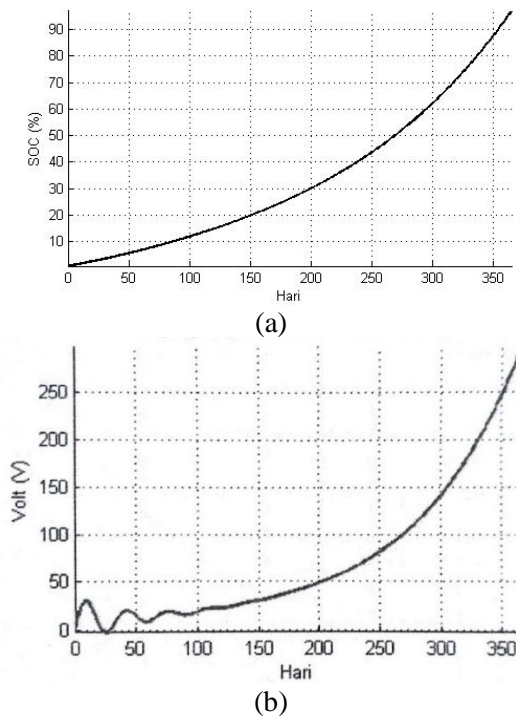


Gambar 4.8. (a). Grafik SOC Baterai Data Pengukuran (b). Grafik Tegangan Baterai Data Pengukuran

Berdasarkan hasil yang didapat dari simulasi, diperoleh hasil bahwa dalam waktu matahari mulai terbit hingga terbenam siklus

pengisian baterai hampir tidak terjadi. Hal tersebut ditunjukkan dalam grafik dimana nilai SOC baterai tidak mencapai angka 1. Tegangan yang dihasilkan oleh baterai menunjukkan bahwa iradiasi matahari mempengaruhi hasil dari tegangan baterai. Berdasarkan grafik yang dihasilkan dari simulasi menunjukkan bahwa pola grafik tersebut mirip dengan pola grafik iradiasi dan dari hasil yang didapat diketahui bahwa tegangan maksimum yang dihasilkan oleh baterai diatas 27 VDC, pada pukul 13.00 WIB.

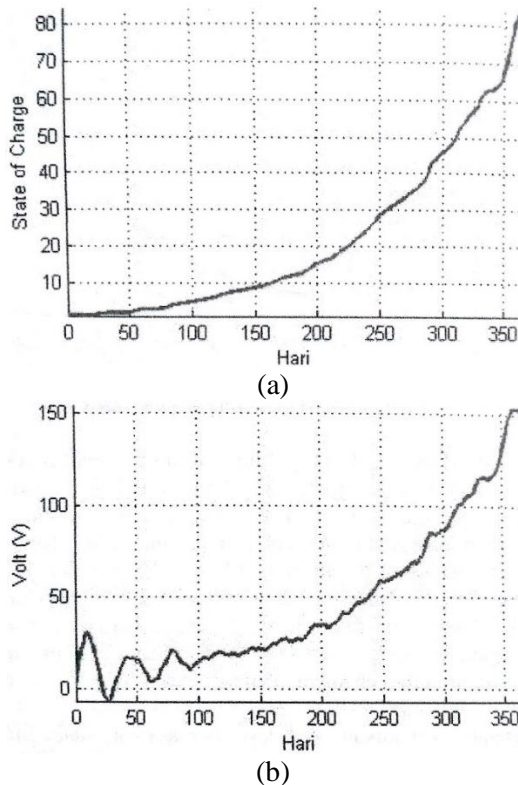
Setelah melakukan simulasi berdasarkan data pengukuran, dilakukan simulasi berdasarkan data iradiasi teoritis. Hasil simulasi berdasarkan data iradiasi teoritis adalah sebagai berikut:



Gambar 4.9. (a). Grafik SOC Data Iradiasi Teoritis (b). Grafik Tegangan Baterai Data Iradiasi Teoritis

Berdasarkan hasil yang didapat dari simulasi dengan menggunakan data iradiasi teoritis, didapatkan bahwa nilai SOC baterai akan semakin meningkat seiring pemakaian dan waktu. Berdasarkan data yang diperlihatkan dalam grafik, nilai state of charge yang dihasilkan oleh baterai dipengaruhi oleh siklus pengisian baterai selama satu tahun. Nilai maksimal state of charge didapatkan pada nilai 96.96% pada hari ke-365. Hal tersebut dikarenakan baterai tidak mengalami pengisian secara penuh selama satu hari, melainkan pengisian baterai dilakukan bertahap dalam satu tahun, sehingga nilai maksimal yang didapat berada pada hari ke 365. Nilai tegangan baterai yang dihasilkan merupakan nilai akumulasi yang dihasilkan setiap harinya, dimana hal tersebut mengakibatkan nilai tegangan baterai yang terus meningkat, hingga jumlah tegangan baterai yang dihasilkan dalam setahun sebesar hampir 300 VDC.

Setelah melakukan simulasi berdasarkan data iradiasi teoritis, maka dilakukan simulasi berdasarkan data cuaca BMKG Juanda. Hasil simulasi berdasarkan data cuaca BMKG Juanda adalah sebagai berikut

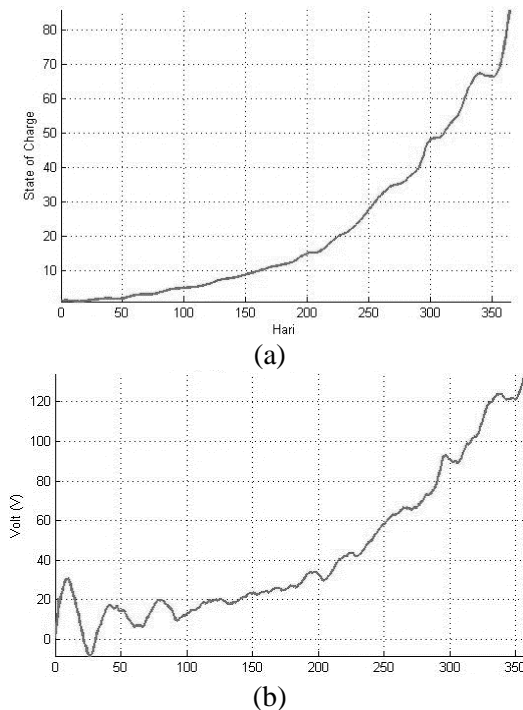


Gambar 4.10. (a) Grafik SOC Baterai Data BMKG (b)Grafik Tegangan Baterai Data BMKG

Berdasarkan hasil yang didapat dari simulasi dengan menggunakan data BMKG Juanda, didapatkan bahwa nilai SOC baterai akan semakin meningkat seiring pemakaian dan waktu. Berdasarkan data yang diperlihatkan dalam grafik, nilai state of charge yang dihasilkan oleh baterai dipengaruhi oleh siklus pengisian baterai selama satu tahun. Nilai maksimal state of charge didapatkan pada nilai 87.73% pada hari ke-365. Hal tersebut dikarenakan baterai tidak mengalami pengisian secara penuh selama satu hari, melainkan pengisian baterai dilakukan bertahap dalam satu tahun, sehingga nilai maksimal yang didapat berada

pada hari ke 365. Nilai tegangan baterai yang dihasilkan merupakan nilai akumulasi yang dihasilkan setiap harinya, dimana hal tersebut mengakibatkan nilai tegangan baterai yang terus meningkat, hingga jumlah tegangan baterai yang dihasilkan dalam setahun sebesar 150 VDC.

Setelah melakukan simulasi berdasarkan data BMKG Juanda, maka dilakukan simulasi berdasarkan NASA POWER. Hasil simulasi berdasarkan data NASA POWER adalah sebagai berikut



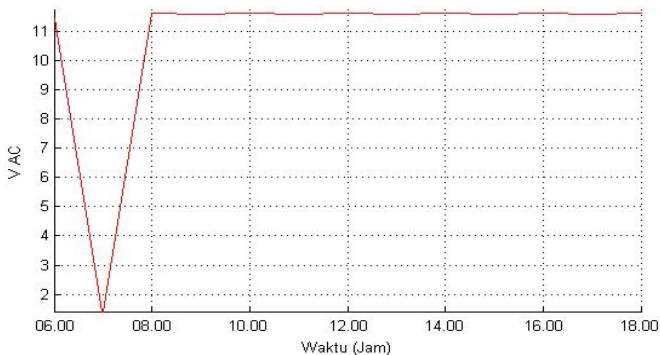
Gambar 4.11. (a) Grafik SOC Baterai Data NASA POWER (b). Grafik Tegangan Baterai Data NASA POWER

Berdasarkan hasil yang didapat dari simulasi dengan menggunakan data NASA POWER, didapatkan bahwa nilai SOC baterai akan semakin meningkat seiring pemakaian dan waktu.

Berdasarkan data yang diperlihatkan dalam grafik nilai state of charge yang dihasilkan oleh baterai dipengaruhi oleh siklus pengisian baterai selama satu tahun. Nilai maksimal state of charge didapatkan pada nilai 88.21% pada hari ke-365. Hal tersebut dikarenakan baterai tidak mengalami pengisian secara penuh selama satu hari, melainkan pengisian baterai dilakukan bertahap dalam satu tahun, sehingga nilai maksimal yang didapat berada pada hari ke 365. Nilai tegangan baterai yang dihasilkan merupakan nilai akumulasi yang dihasilkan setiap harinya, dimana hal tersebut mengakibatkan nilai tegangan baterai yang terus meningkat, hingga jumlah tegangan baterai yang dihasilkan dalam setahun sebesar 129 VDC.

4.5. Hasil Simulasi Terhadap Inverter

Simulasi terhadap inverter yang terpasang dalam sistem dilakukan agar mengetahui pengaruh nilai masukan sistem, yaitu iradiasi matahari dan suhu terhadap nilai yang dihasilkan dalam simulasi terhadap inverter. Simulasi pertama dilakukan dengan menggunakan data pengukuran iradiasi matahari

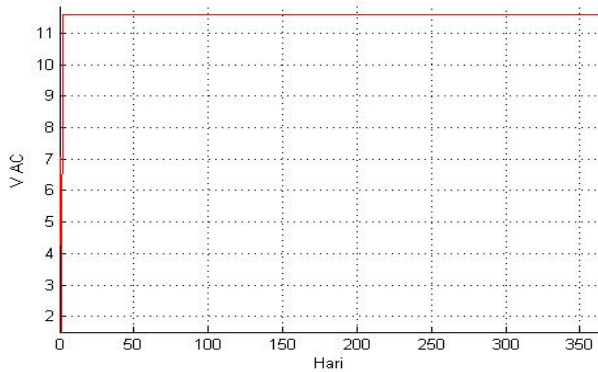


Gambar 4.12. Keluaran Tegangan AC Inverter Data Pengukuran

Berdasarkan hasil yang didapat dari simulasi dengan data pengukuran, didapat bahwa adanya nilai yang menurun tajam dan kemudian nilai keluaran stabil lagi di angka 11-12 VAC.

Penurunan nilai tersebut disebabkan oleh proses simulasi yang terdapat dalam software Simulink.

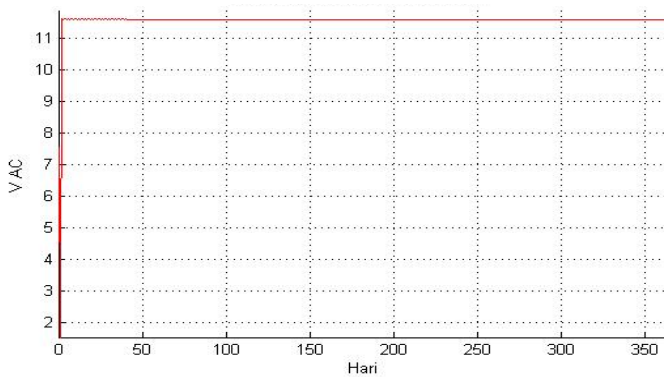
Setelah melakukan simulasi berdasarkan data pengukuran, maka dilakukan simulasi berdasarkan data iradiasi teoritis. Hasil simulasi berdasarkan data iradiasi teoritis adalah sebagai berikut



Gambar 4.13. Keluaran Tegangan AC Inverter Data Iradiasi Teoritis

Berdasarkan hasil yang didapat dari simulasi dengan data iradiasi teoritis, tidak ditemukan nilai yang menurun tajam seperti terdapat dalam hasil simulasi sebelumnya. Namun nilai yang dihasilkan dalam hasil simulasi dimulai dengan meningkatnya nilai tegangan AC dari 0 VAC hingga 11.7 VAC.

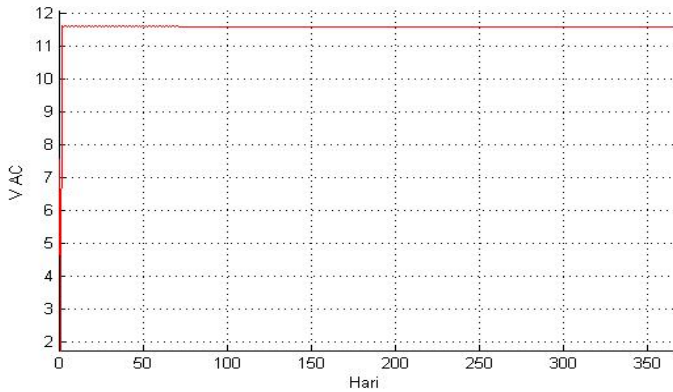
Setelah melakukan simulasi berdasarkan data iradiasi teoritis, maka dilakukan simulasi berdasarkan data cuaca BMKG Juanda. Hasil simulasi berdasarkan data cuaca BMKG Juanda adalah sebagai berikut



Gambar 4.14. Keluaran Tegangan AC Inverter Data BMKG Juanda

Berdasarkan hasil yang didapat dari simulasi dengan data BMKG Juanda, hasil simulasi menunjukkan terdapat persamaan bentuk grafik dengan hasil simulasi berdasarkan data iradiasi teoritis. Namun nilai yang dihasilkan dalam hasil simulasi dimulai dengan meningkatnya nilai tegangan AC dari 0 VAC hingga 11.7 VAC serta terdapat nilai yang berisolasi dengan amplitude yang sangat kecil pada nilai yang dihasilkan dibawah hari yang ke 50. Hal tersebut disebabkan oleh nilai iradiasi yang berbeda dalam digunakannya simulasi tersebut.

Setelah melakukan simulasi berdasarkan data BMKG Juanda, maka dilakukan simulasi berdasarkan NASA POWER. Hasil simulasi berdasarkan data NASA POWER adalah sebagai berikut

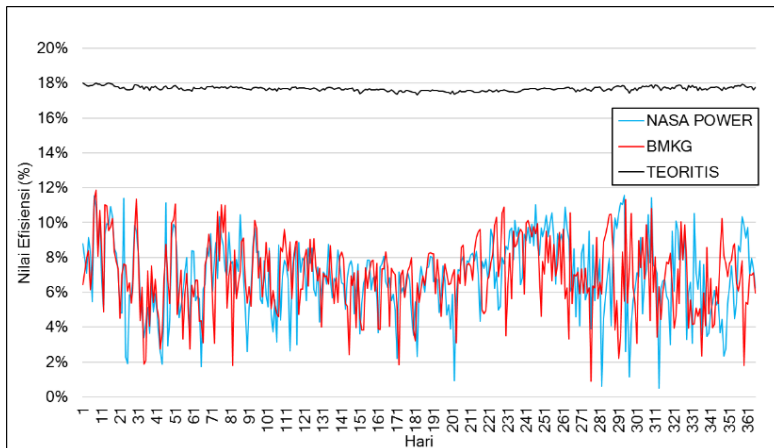


Gambar 4.15. Keluaran Tegangan AC Inverter Data NASA POWER

Berdasarkan hasil yang didapat dari simulasi dengan data NASA POWER, hasil simulasi menunjukkan terdapat persamaan bentuk grafik dengan hasil simulasi berdasarkan data BMKG Juanda. Nilai yang dihasilkan dalam hasil simulasi dimulai dengan meningkatnya nilai tegangan AC dari 0 VAC hingga 11.7 VAC serta terdapat nilai yang berisolasi dengan amplitude yang lebih kecil dibandingkan dengan hasil simulasi berdasarkan data BMKG Juanda. Hal tersebut diakibatkan oleh perbedaan yang sangat sedikit diantara data BMKG Juanda dan NASA POWER sehingga menghasilkan selisih perbedaan yang sangat kecil

4.6. Analisa Efisiensi Sistem PV

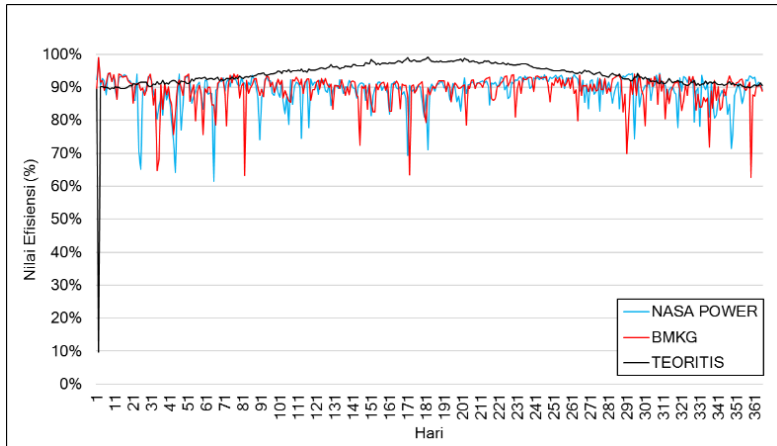
Hasil yang didapat dari simulasi Simulink kemudian akan diolah untuk mencari nilai performa dan efisiensi dari sistem PV. Berdasarkan hasil yang didapat dari simulasi, maka didapat efisiensi dari 3 aspek dalam sistem PV, yaitu efisiensi array PV, efisiensi inverter, serta efisiensi sistem PV secara keseluruhan. Berikut ini merupakan hasil perhitungan efisiensi array PV



Gambar 4.16. Efisiensi Array PV

Nilai efisiensi dari array PV untuk data iradiasi teoritis menunjukkan bahwa presentase nilai efisiensi yang dihasilkan sangat bagus, dimana untuk nilai efisiensi suatu panel PV berbahan polycrystalline sebesar 18%. Nilai yang didapatkan untuk efisiensi dari array PV berkisar antara 15.45-16%, dimana nilai tersebut sangat baik dan mendekati nilai efisiensi tertinggi untuk suatu PV. Sedangkan untuk efisiensi data BMKG Juanda dan NASA POWER lebih rendah yaitu rata-rata efisiensi sebesar 6.96% dan 6.95%. hal tersebut disebabkan oleh faktor-faktor yang menyebabkan pengukuran iradiasi oleh BMKG dan NASA POWER tidak seperti iradiasi teoritis. Hal itu disebabkan oleh adanya awan yang melintas di langit dan adanya bayangan akibat pergerakan matahari sehingga nilai iradiasi tidak menjadi ideal, seperti nilai iradiasi teoritis.

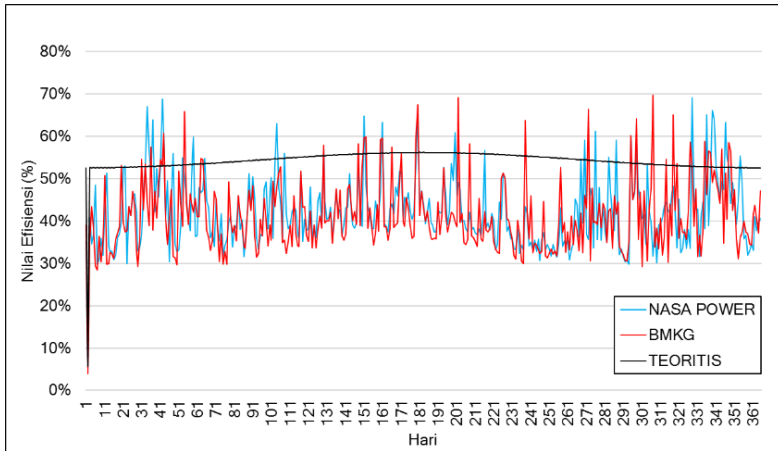
Setelah melakukan perhitungan efisiensi array PV, maka dilakukan perhitungan efisiensi inverter PV. Hasil perhitungan efisiensi inverter PV adalah sebagai berikut



Gambar 4.17. Efisiensi Inverter PV

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi inverter, didapatkan hasil efisiensi inverter berdasarkan data iradiasi teoritis sebesar rata-rata 93.86%, untuk nilai rata-rata efisiensi inverter dengan data BMKG Juanda sebesar 89.26%, dan nilai rata-rata efisiensi inverter dengan data NASA POWER sebesar 89.24%. Efisiensi inverter dengan data iradiasi teoritis lebih besar karena nilai iradiasi teoritis merupakan nilai iradiasi ideal yang tidak terdapat bayangan atau gangguan. Sedangkan nilai efisiensi inverter berdasarkan data BMKG Juanda dan NASA POWER lebih rendah dan hampir sama nilainya diakibatkan oleh pengambilan data secara aktual oleh kedua instansi badan pengawasan cuaca.

Setelah melakukan perhitungan efisiensi array PV, maka dilakukan perhitungan efisiensi inverter PV. Hasil perhitungan efisiensi inverter PV adalah sebagai berikut

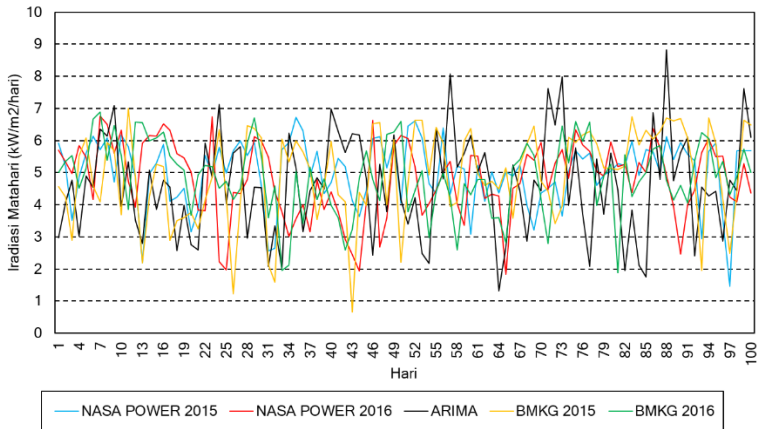


Gambar 4.18. Efisiensi Sistem PV

Dari hasil perhitungan yang didapat, efisiensi sistem PV dengan menggunakan data iradiasi teoritis lebih besar dengan nilai rata-rata sebesar 54.21%. Untuk nilai rata-rata efisiensi inverter dengan data BMKG Juanda sebesar 41.04%, dan nilai rata-rata efisiensi inverter dengan data NASA POWER sebesar 42.05%. Efisiensi sistem PV dengan data iradiasi teoritis lebih besar karena nilai iradiasi teoritis merupakan nilai iradiasi ideal yang tidak terdapat bayangan atau gangguan. Sedangkan nilai efisiensi sistem PV berdasarkan data BMKG Juanda dan NASA POWER lebih rendah dan hampir sama nilainya diakibatkan oleh pengambilan data secara aktual oleh kedua instansi badan pengawasan cuaca.

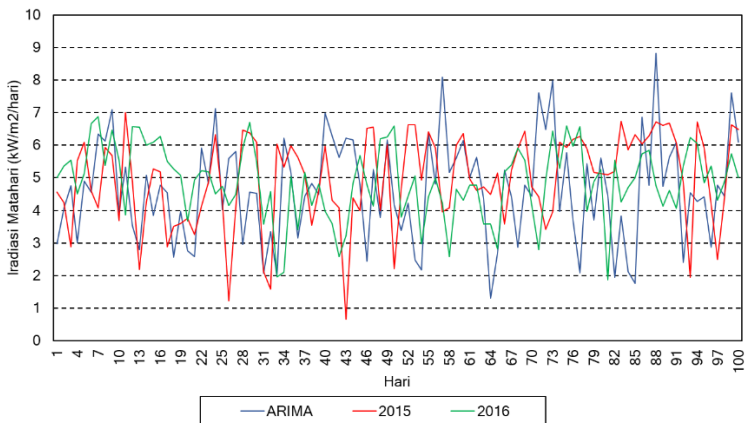
4.7. Hasil Prediksi Variabel Cuaca

Prediksi variabel cuaca dilakukan menggunakan metode ARIMA dengan acuan data dari tahun 2011. Prediksi cuaca dilakukan untuk memprediksi cuaca selama 100 hari kedepan dan hasil dari prediksi variabel cuaca tersebut akan dibandingkan dengan data cuaca tahun 2015 dan 2016. Dari hasil tersebut nantinya akan diketahui hasil dari prediksi cuaca tersebut akan mendekati data tahun 2015 atau 2016.



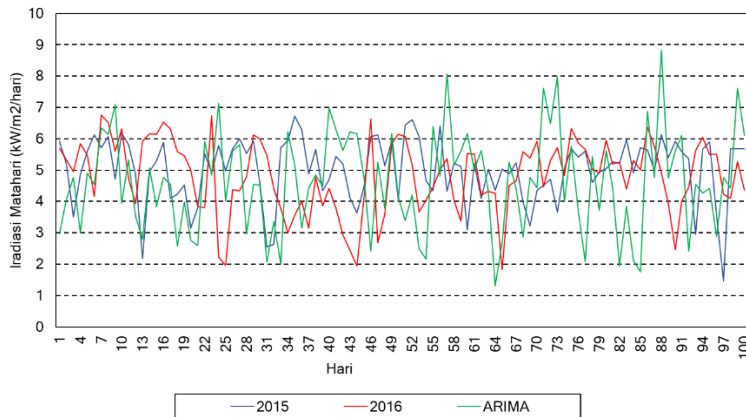
Gambar 4.19. Hasil Prediksi Variabel Cuaca Selama 100 Hari

Grafik diatas merupakan penggabungan nilai iradiasi matahari yang berasal dari data BMKG Juanda tahun 2015 dan 2016, data NASA POWER tahun 2015 dan 2016, serta hasil prediksi variabel cuaca menggunakan metode ARIMA. Berikut ini merupakan grafik hasil ARIMA dengan data BMKG Juanda



Gambar 4.20. Grafik Hasil Prediksi Variabel Cuaca, ARIMA dengan Data BMKG Juanda

Grafik diatas menunjukkan bahwa hasil ARIMA mempunyai perbedaan nilai yang cukup jauh di beberapa titik waktu. Jika dilihat dari rata-rata nilainya, data BMKG Juanda pada tahun 2015 mempunyai nilai rata-rata sebesar 4.984 kW/m^2 sedangkan pada tahun 2016 nilai rata-rata sebesar 4.8878 kW/m^2 . Hasil ARIMA memiliki nilai rata-rata sebesar 4.6724 kW/m^2 . Dari nilai rata-rata tersebut, ARIMA mempunyai eror terhadap data BMKG Juanda tahun 2015 dan 2016 sebesar 6.49% dan 5.13%.



Gambar 4.21. Grafik Hasil Prediksi Variabel Cuaca, ARIMA dengan Data NASA POWER

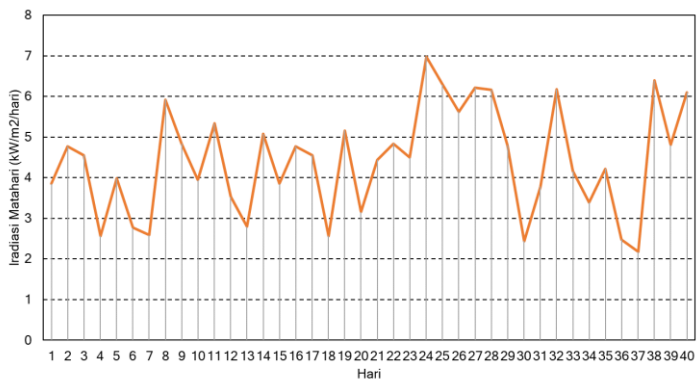
Grafik diatas merupakan grafik hasil ARIMA dengan data NASA POWER. Grafik tersebut menunjukkan bahwa hasil ARIMA tidak memiliki perbedaan nilai yang cukup jauh, tidak seperti grafik hasil ARIMA dengan data BMKG Juanda. Nilai rata-rata iradiasi matahari NASA POWER pada tahun 2015 sebesar 5.011 kW/m^2 dan pada tahun 2016 sebesar 4.8199 kW/m^2 . Jika dibandingkan dengan rata-rata ARIMA yaitu sebesar 4.6274 kW/m^2 , eror yang dihasilkan oleh ARIMA terhadap data tahun 2015 dan 2016 yaitu sebesar 7.66% dan 3.99%. Nilai eror tahun 2016 merupakan nilai eror terkecil jika dibandingkan dengan data

lainnya, dimana dengan menggunakan data BMKG Juanda eror yang paling mendekati pada tahun 2016 yaitu sebesar 5.13%.

dikarenakan jika prediksi dilakukan lebih dari 100 hari maka akan dihasilkan nilai yang konstan atau linier. Hal itu disebabkan karena ARIMA merupakan metode untuk prediksi jangka waktu pendek dan mempunyai kelemahan dalam prediksi jangka waktu panjang yaitu hasil prediksi pada jangka waktu panjang hasilnya akan linier.

4.8. Hasil Simulasi Prediksi Variabel Cuaca

Hasil prediksi variabel cuaca yang dilakukan pada sub-bab 4.7. menunjukkan bahwa pemodelan dari ARIMA dapat dilakukan dengan melakukan prediksi variabel cuaca hingga 100 hari ke depan dengan range error pada pemodelan dari 3,99% hingga 7,6%. Namun, jika menerapkan waktu pelaksanaan prediksi hingga 100 hari kedepan, error yang dihasilkan setiap nilai prediksi akan semakin besar. Maka diputuskan untuk melakukan prediksi hingga 40 hari kedepan untuk menghindari nilai error yang akan semakin tinggi, yaitu dari awal Januari hingga hari ke 10 pada bulan Februari. Berikut ini merupakan hasil prediksi variabel cuaca untuk 40 hari kedepan:

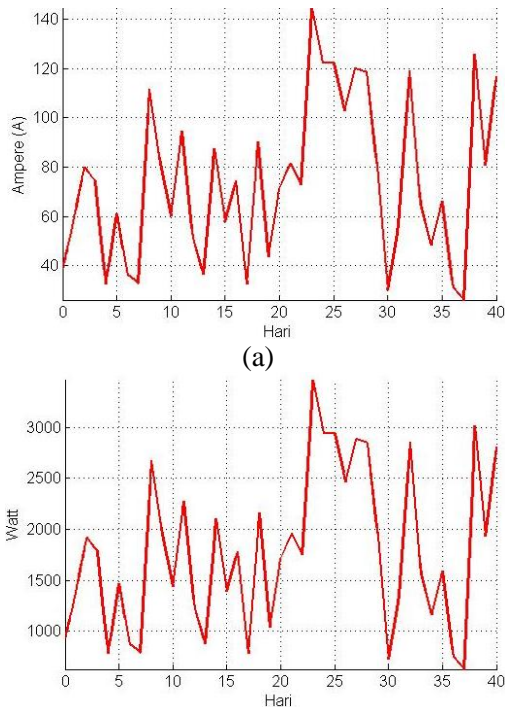


Gambar 4.22. Grafik Hasil Prediksi Variabel Cuaca untuk 40 Hari Selanjutnya

Data variabel cuaca yang didapat dari proses prediksi kemudian dijadikan nilai input untuk simulasi sistem PV agar dapat mengetahui pengaruh nilai variabel cuaca yang sudah melalui tahap prediksi terhadap sistem PV. Berikut merupakan hasil simulasi sistem PV dengan menggunakan software Simulink:

- Hasil Simulasi Terhadap Array PV

Tahapan simulasi ini dilakukan untuk mengetahui dampak dari nilai variabel cuaca yang sudah diprediksi untuk 40 hari kedepan terhadap array PV yang terpasang di atas gedung Pascasarjana Teknik Fisika ITS. Berikut merupakan hasil dari simulasi Array PV:



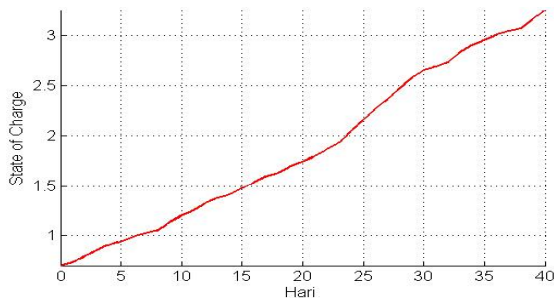
(b)

Gambar 4.23. (a). Arus Keluaran Array PV Data Iradiasi ARIMA (b). Daya Keluaran Array PV Data Iradiasi ARIMA.

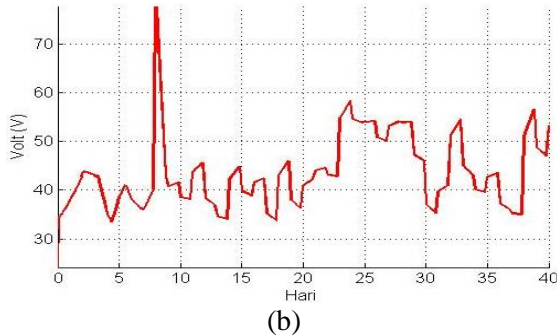
Dari hasil simulasi terhadap array PV, diperoleh hasil dimana keluaran array PV dipengaruhi oleh nilai input yang dimasukkan, yaitu nilai iradiasi matahari. Hasil yang diperoleh pada simulasi menunjukkan bahwa nilai keluaran yang dihasilkan tidak stabil. Hal itu disebabkan oleh nilai input dari simulasi, dimana pada bulan Januari hingga Februari masih dalam keadaan musim hujan. Maka nilai intensitas radiasi yang diperoleh tidak maksimal karena banyaknya difusi atau gangguan yang terdapat di atmosfer.

- Hasil Simulasi Terhadap Baterai

Tahapan simulasi ini dilakukan untuk mengetahui dampak dari nilai variabel cuaca yang sudah diprediksi untuk 40 hari kedepan terhadap baterai yang terpasang di atas gedung Pascasarjana Teknik Fisika ITS. Berikut merupakan hasil dari simulasi baterai:



(a)

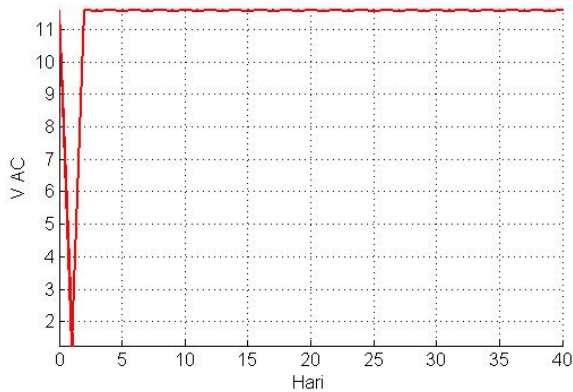


(b)
Gambar 4.24. (a). Grafik SOC Data Iradiasi ARIMA (b). Grafik Tegangan Baterai Data Iradiasi ARIMA

Dari hasil simulasi terhadap baterai, diperoleh hasil dimana keluaran baterai dipengaruhi oleh keluaran dari komponen sebelumnya, yaitu nilai array PV. Hasil yang diperoleh pada simulasi menunjukkan bahwa nilai keluaran yang dihasilkan tidak stabil. Hal itu disebabkan oleh nilai input dari simulasi, dimana pada bulan Januari hingga Februari masih dalam keadaan musim hujan. Maka nilai intensitas radiasi yang diperoleh tidak maksimal karena banyaknya difusi atau gangguan yang terdapat di atmosfer.

- Hasil Simulasi Terhadap Inverter

Tahapan simulasi ini dilakukan untuk mengetahui dampak dari nilai variabel cuaca yang sudah diprediksi untuk 40 hari kedepan terhadap inverter yang terpasang di atas gedung Pascasarjana Teknik Fisika ITS. Berikut merupakan hasil dari simulasi inverter:

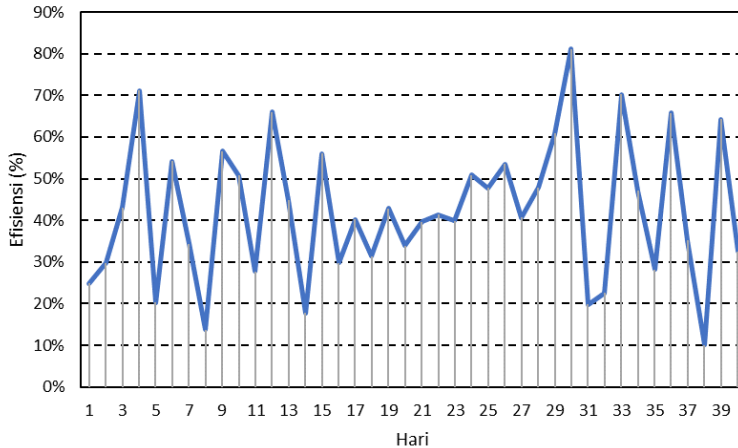


Gambar 4.25. Keluaran Tegangan AC Inverter Data Iradiasi ARIMA

Dari hasil simulasi terhadap baterai, diperoleh hasil dimana keluaran baterai dipengaruhi oleh keluaran dari komponen sebelumnya, yaitu nilai tegangan keluaran dari baterai. Pada hasil simulasi inverter, terdapat drop tegangan pada hari pertama, hal itu diakibatkan dari tegangan DC yang berasal dari baterai belum dialirkan menuju inverter dan baterai masih dalam keadaan charging. Pada hari ke-2 dan seterusnya, inverter sudah mampu mengubah besaran tegangan DC yang berasal dari baterai menjadi tegangan AC yang stabil yaitu sebesar 11.75 VAC.

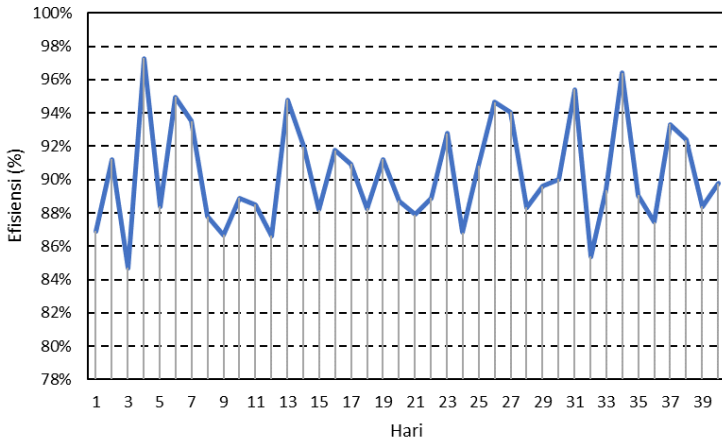
- **Perhitungan Efisiensi Sistem**

Hasil yang didapat dari simulasi Simulink dengan menggunakan data iradiasi ARIMA kemudian akan diolah untuk mencari nilai performa dan efisiensi dari sistem PV. Berdasarkan hasil yang didapat dari simulasi, maka didapat efisiensi dari 3 aspek dalam sistem PV, yaitu efisiensi array PV, efisiensi inverter, serta efisiensi sistem PV secara keseluruhan. Berikut merupakan hasil perhitungan efisiensi dari array PV:



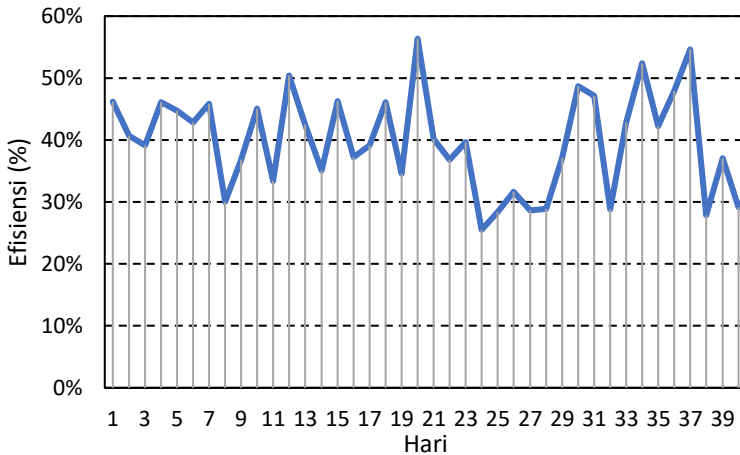
Gambar 4.26. Efisiensi Array PV Data ARIMA

Hasil perhitungan efisiensi array dengan menggunakan data prediksi ARIMA 40 hari kedepan memperlihatkan bahwa efisiensi array yang didapatkan dengan rata-rata sebesar 42.2%. Nilai efisiensi tersebut dipengaruhi oleh besarnya luasan panel PV yang digunakan dibandingkan dengan iradiasi matahari yang ditangkap oleh panel PV. Efisiensi yang dihasilkan dibawah 50% dipengaruhi oleh nilai iradiasi matahari pada bulan Januari hingga Februari terdapat difusi atau gangguan yang cukup banyak, mengingat pada bulan tersebut masih dalam keadaan musim hujan. Setelah melakukan perhitungan efisiensi array PV, maka perhitungan efisiensi inverter dilakukan untuk mengetahui nilai efisiensi yang dihasilkan. Berikut hasil perhitungan efisiensi inverter:



Gambar 4.27. Efisiensi Inverter Data ARIMA

Hasil perhitungan efisiensi inverter dengan menggunakan data prediksi ARIMA 40 hari kedepan memperlihatkan bahwa efisiensi array yang didapatkan dengan rata-rata sebesar 90.31%. Nilai efisiensi tersebut dipengaruhi oleh masukan yang didapat dari tegangan DC baterai yang kemudian diterima dan diubah menjadi tegangan AC oleh inverter. Setelah melakukan perhitungan efisiensi inverter, maka perhitungan efisiensi keseluruhan sistem dilakukan untuk mengetahui nilai efisiensi yang dihasilkan. Berikut hasil perhitungan efisiensi keseluruhan sistem:



Gambar 4.28. Efisiensi Sistem PV Data ARIMA

Hasil perhitungan efisiensi sistem PV dengan menggunakan data prediksi ARIMA 40 hari kedepan memperlihatkan bahwa efisiensi array yang didapatkan dengan rata-rata sebesar 39.85%. Nilai efisiensi tersebut dipengaruhi oleh setiap komponen yang terdapat dalam sistem PV dan nilai iradiasi yang digunakan. Dikarenakan nilai iradiasi matahari yang telah diprediksi dipengaruhi oleh nilai iradiasi matahari pada bulan Januari hingga Februari terdapat difusi atau gangguan yang cukup banyak, mengingat pada bulan tersebut masih dalam keadaan musim hujan. Sehingga nilai efisiensi sistem PV yang dihasilkan dibawah 40%, dan sistem tidak bekerja secara maksimal.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari Tugas Akhir ini yakni sebagai berikut:

1. Dari hasil simulasi yang telah didapat, diperoleh hasil bahwa nilai variabel cuaca, yaitu iradiasi matahari dan suhu, sangat mempengaruhi nilai efisiensi yang dihasilkan dari sistem PV. Hal ini terbukti dengan memberikan nilai iradiasi matahari dan suhu dari tiga sumber yang berbeda dan menghasilkan nilai efisiensi yang berbeda pula.
2. Dengan menggunakan nilai variabel cuaca yang telah diprediksi menggunakan metode ARIMA dengan nilai error sebesar 3.99%, didapat hasil bahwa sistem PV mempunyai nilai efisiensi sebesar 39.85%. hal tersebut dipengaruhi oleh nilai variabel cuaca yang digunakan sebagai input untuk sistem dan prediksi yang dilakukan sejauh 40 hari kedepan, dimana berada pada bulan Januari hingga awal Februari dan masih dalam keadaan musim hujan, sehingga sistem tidak bekerja secara maksimal.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Sebaiknya pengembangan untuk tugas akhir selanjutnya dengan tema seperti tugas akhir ini, dilakukan dengan menggunakan metode prediksi cuaca selain ARIMA dan membandingkan hasil prediksi cuaca tersebut.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Tripathi, P. Yadav, S. Rathod, M. Kumar, "Performance Analysis and Comparison of Two Silicon Material Based Photovoltaic Technologies Under Actual Climatic Conditions in Western India," *Energy Conversion and Management*, vol. I, no. 80, p. 97-102, 2014.
- [2] A. M. Humada, M. Hojabri, H. M. Hamada, "Performance Evaluation of Two PV Technologies (c-Si and CIS) for Building Integrated Photovoltaic Based on Tropical Climate Condition: A Case Study in Malaysia," *Energy and Buildings*, vol. I, no. 119, p. 233-241, 2016.
- [3] T. Khatib, K. Sopian, H. Kazem, "Actual Performance and Characteristic of A Grid Connected Photovoltaic Power System in The Tropics: A Short Term Evaluation", *Energy Conversion and Management*, vol. I, no. 71, p. 115-119, 2013.
- [4] R. Dabou F. Bouchafaa, A. Bouraiou, "Monitoring and Performance Analysis of Grid Connected Photovoltaic Under Different Climatic Conditions in South Algeria," *Energy Conversion and Management*, vol. I, no. 130, p. 200-206, 2016.
- [5] S. Ghazi, I. Kenneth, "The Effect of Weather Conditions on The Efficiency of PV Panels in The South-East of UK," *Renewable Energy*, vol. I, no. 69, p. 50-59, 2014.
- [6] M. Aguiar, B. Pereira, P. Lauret, "Combining Solar Irradiance Measurements, Satellite-Derived Data and A Numerical Weather Prediction Model to Improve Intra-Day Solar Forecasting," *Renewable Energy*, vol. I, no. 97, p. 599-610, 2016.
- [7] R. Bansal, Z. Ahmed, "Handbook of Renewable Energy Technology", Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2011.
- [8] S. Sumathi, L. Ashok Kumar, P. Surekha, "Solar PV and Wind Energy Conversion Systems: An Introduction to Theory, Modelling with MatLab / Simulink, and the Role of Soft Computing Techniques", Switzerland: Springer International Publishing, 2015.

- [9] R. A. Messenger, J. Ventre, "Photovoltaics Systems Engineering", London: Taylor & Francis, 2005.
- [10] B. Abraham, J. Ledolter, "Statistical Methods for Forecasting", United States of America: John Wiley & Sons, 2005.
- [11] N. Robert, "Lecture Notes on ARIMA models", United States of America", Duke University, 2005.
- [12] B. George, M. Gwilym, "Time Series Analysis: Forecasting and Control (Third ed)", United States of America: Prentice-Hall, 1994.
- [13] Sutikno, R. D. Bkti, P. Susanti, "Prakiraan Cuaca Dengan Metode Autoregressive Integrated Moving Average, Neural Network, dan Adaptive Splines Treshold Autoregresion di Stasiun Juanda Surabaya", Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2010.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Koding Karakteristik Panel PV Perubahan Iradiasi

```
%% Karakteristik PV Perubahan Iradiasi
clear all
clc
Va=0:.01:40;
Suns=.2:.2:1;
TaC=30;
Ipv=zeros(size(Va));
Ppv=zeros(size(Va));
for s=1:1:length(Suns)
for i=1:1:length(Va)
k=1.38e-23;
q=1.6e-19;
A=1.3;
Vg=1.12;
Ns=60;

T1=273+25;
Voc_T1=36.66/Ns;
Isc_T1=8.34;

T2=273+75;
Voc_T2=36/Ns;
Isc_T2=8;

TarK=273+TaC;
Tref=273+25;
%{
Va=0;
Iph_T1=Isc_T1;
%}
Iph_T1=Isc_T1*Suns(s);
a=(Isc_T2-Isc_T1)/Isc_T1*1/(T2-T1);
Iph=Iph_T1*(1+a*(TarK-T1));
```

```

Vt_T1=k*T1/q;
Ir_T1=Isc_T1/(exp(Voc_T1/(A*Vt_T1))-1);
Ir_T2=Isc_T2/(exp(Voc_T2/(A*Vt_T1))-1);

b=Vg*q/(A*k);
Ir=Ir_T1*(TarK/T1).^(3/A).*exp(-b.*(1./TarK-
1/T1));

X2v=Ir_T1/(A*Vt_T1)*exp(Voc_T1/(A*Vt_T1));
dVdI_Voc=-1.15/Ns/2;

Rs=-dVdI_Voc-1/X2v;

%Ia=1:0.01:Iph;
Vt-Ta=A*k*TarK/q;

%{
Ia1=Iph-Ir*(exp((Vc+Ia*Rs)/Vt-Ta)-1));
solve for I: f(Ia)=Iph-Ia-
Ir*(exp((Vc+Ia*Rs)/Vt-Ta)-1))=0;
Newton raphson Ia2=Ias1-f(Ia1)/f'(Ia1)
%}
Vc=Va(i)/Ns;
Ia=zeros(size(Vc));
%Iav=Ia
for j=1:1:10
    Ia=Ia-(Iph-Ia-Ir*(exp((Vc+Ia*Rs)/Vt-Ta)-
1))./(-1-Ir*(exp((Vc+Ia*Rs)/Vt-Ta)-
1).*Rs/Vt-Ta);
end
Ipv(s,i)=Ia;
Ppv(s,i)=Va(i)*Ipv(s,i);
end
end
%% figure properties
axes1 = axes('Parent',figure,'OuterPosition',[0
0.5 1 0.5]);
xlim(axes1,[0 40]);
ylim(axes1,[0 10]);

```

```

box(axes1, 'on');
grid(axes1, 'on');
hold(axes1, 'all');
title('I-V charateristics at 25 C');
xlabel('V_p_v (V)');
ylabel('I_p_v (A)');
plot1 =
plot(Va(1,:), Ipv(:, :), 'Parent', axes1, 'LineWidth'
, 1.5);
set(plot1(1), 'DisplayName', '0.2 kW/m2');
set(plot1(2), 'DisplayName', '0.4 kW/m2');
set(plot1(3), 'DisplayName', '0.6 kW/m2');
set(plot1(4), 'DisplayName', '0.8 kW/m2');
set(plot1(5), 'DisplayName', '1.0 kW/m2');
axes2 = axes('OuterPosition', [0 0 1 0.5]);
    xlim(axes2, [0 40]);
    ylim(axes2, [0 250]);
box(axes2, 'on');
grid(axes2, 'on');
hold(axes2, 'all');
title('P-V charateristics at 25 C');
xlabel('V_p_v (V)');
ylabel('P_p_v (W)');
plot2 =
plot(Va(1,:), Ppv(:, :), 'Parent', axes2, 'LineWidth'
, 1.5);
set(plot2(1), 'DisplayName', '0.2 kW/m2');
set(plot2(2), 'DisplayName', '0.4 kW/m2');
set(plot2(3), 'DisplayName', '0.6 kW/m2');
set(plot2(4), 'DisplayName', '0.8 kW/m2');
set(plot2(5), 'DisplayName', '1.0 kW/m2');
    legend1 = legend(axes1, 'show');
    set(legend1, ...
        'Position', [0.791450219003363
0.769901214241614 0.0793528505392912
0.151937984496124]);
    legend2 = legend(axes2, 'show');
    set(legend2, ...

```

```
'Position',[0.189976911157747
0.248883515126569 0.0793528505392912
0.151937984496124]);
```

Lampiran 2. Koding Karakteristik Panel PV Perubahan Suhu

```
% Karakteristik PV Perubahan Suhu
clear all
clc
Va=0:.01:40;
Suns=1;
% TaC=30;
TaC=25:10:65;
lva=length(Va);
%lsuns=length(Suns);
lT=length(TaC);

Ipv=zeros(size(Va));
% for s=1:1:lsuns
for s=1:1:lT
for i=1:1:lva
k=1.38e-23;
q=1.6e-19;
A=1.2;
Vg=1.13;
Ns=60;
T1=273+25;
Voc_T1=36.66/Ns;
Isc_T1=8.34;
T2=273+75;
Voc_T2=36/Ns;
Isc_T2=8;
TarK=273+TaC(s);
Tref=273+25;
Iph_T1=Isc_T1*Suns;
a=(Isc_T2-Isc_T1)/Isc_T1*1/(T2-T1);
Iph=Iph_T1*(1+a*(TarK-T1));
Vt_T1=k*T1/q;
Ir_T1=Isc_T1/(exp(Voc_T1/(A*Vt_T1))-1);
Ir_T2=Isc_T2/(exp(Voc_T2/(A*Vt_T1))-1);
```

```

b=Vg*q/(A*k);
Ir=Ir_T1*(TarK/T1).^(3/A).*exp(-b.*(1./TarK-
1/T1));
X2v=Ir_T1/(A*Vt_T1)*exp(Voc_T1/(A*Vt_T1));
dVdI_Voc=-1.15/Ns/2;
Rs=-dVdI_Voc-1/X2v;
Vt_Ta=A*k*TarK/q;
Vc=Va(i)/Ns;
Ia=zeros(size(Vc));
for j=1:1:100
    Ia=Ia-(Iph-Ia-Ir*(exp((Vc+Ia*Rs)/Vt_Ta)-
1))./(-1-Ir*(exp((Vc+Ia*Rs)/Vt_Ta)-
1).*Rs/Vt_Ta);
end
Ipv(s,i)=Ia;
Ppv(s,i)=Va(i)*Ia;
end
end
axes1 = axes('Parent',figure,'OuterPosition',[0
0.5 1 0.5]);
xlim(axes1,[0 40]);
ylim(axes1,[0 10]);
box(axes1,'on');
grid(axes1,'on');
hold(axes1,'all');
title('I-V Temperature Characteristics');
xlabel('V_p_v (V)');
ylabel('I_p_v (A)');
plot1 =
plot(Va(1,:),Ipv(:,:),'Parent',axes1,'LineWidth'
,1.5);
set(plot1(1),'DisplayName','25C T');
set(plot1(2),'DisplayName','35C T');
set(plot1(3),'DisplayName','45C T');
set(plot1(4),'DisplayName','55C T');
set(plot1(5),'DisplayName','65C T');
axes2 = axes('OuterPosition',[0 0 1 0.5]);
xlim(axes2,[0 40]);
ylim(axes2,[0 250]);
box(axes2,'on');

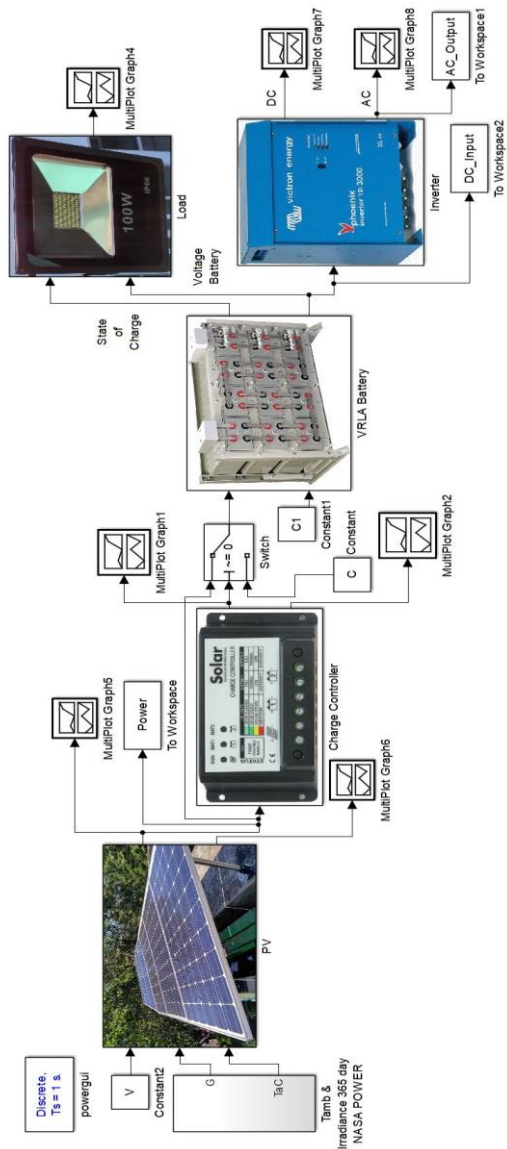
```

```

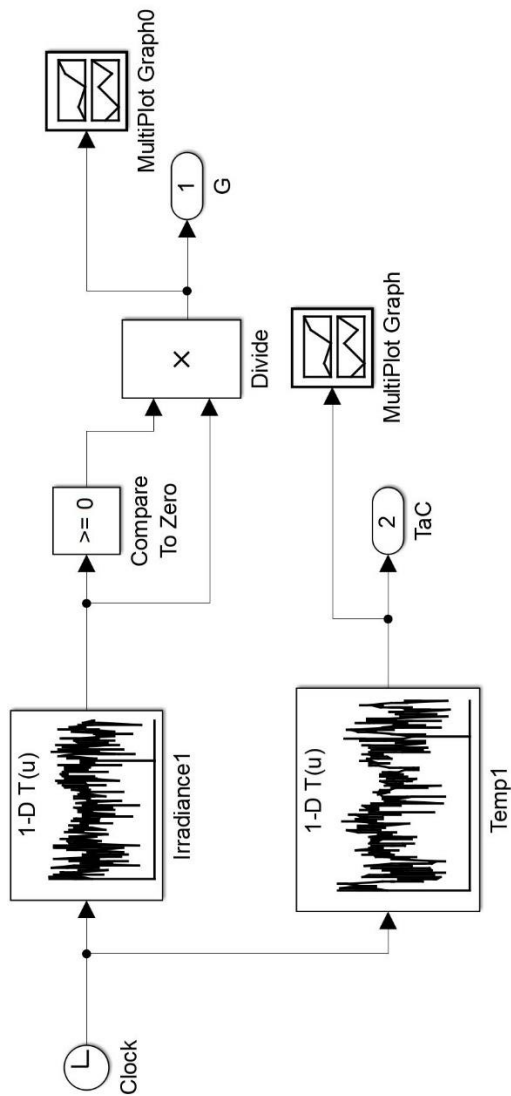
grid(axes2, 'on');
hold(axes2, 'all');
title('P-V Temperature Characteristics');
xlabel('V_p_v (V)');
ylabel('P_p_v (W)');
plot2 =
plot(Va(1,:), Ppv(:, :), 'Parent', axes2, 'LineWidth'
, 1.5);
set(plot2(1), 'DisplayName', '25C T');
set(plot2(2), 'DisplayName', '35C T');
set(plot2(3), 'DisplayName', '45C T');
set(plot2(4), 'DisplayName', '55C T');
set(plot2(5), 'DisplayName', '65C T');
legend1 = legend(axes2, 'show');
set(legend1, ...
    'Position', [0.142649065260064
0.28888888888888888 0.106317411402157
0.151937984496124]);
legend2 = legend(axes1, 'show');
set(legend2, ...
    'Position', [0.140359086340159
0.603617571059427 0.101694915254237
0.151937984496124]);

```

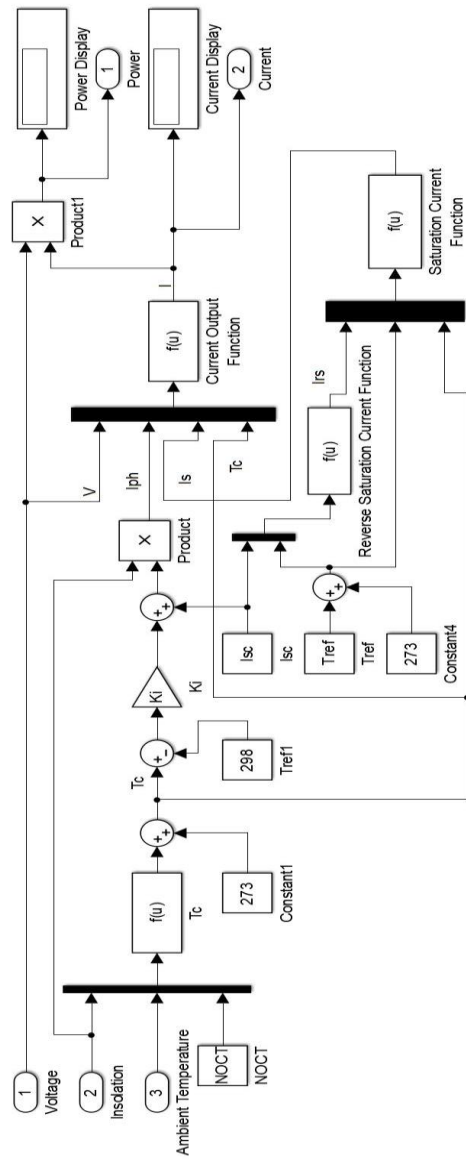

Lampiran 3. Simulink Sistem PV



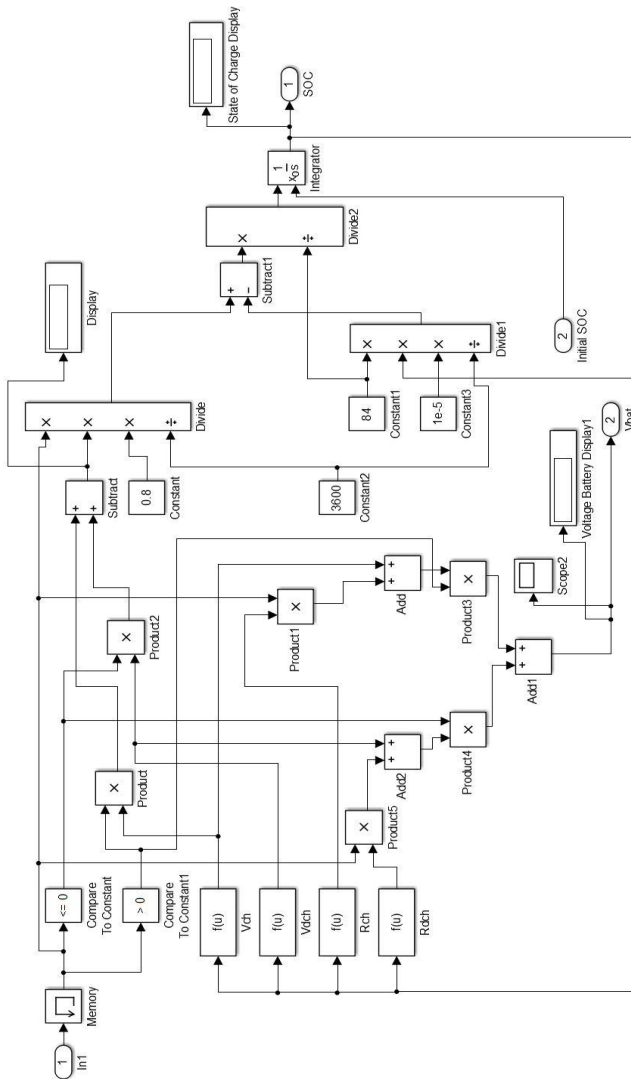
Lampiran 4. Simulink Input Parameter



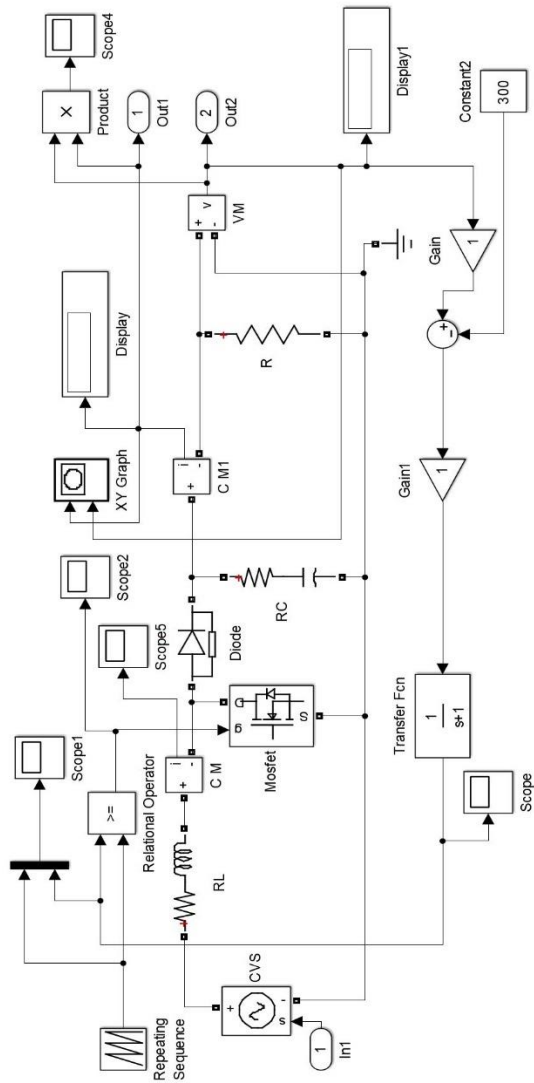
Lampiran 5. Simulink PV

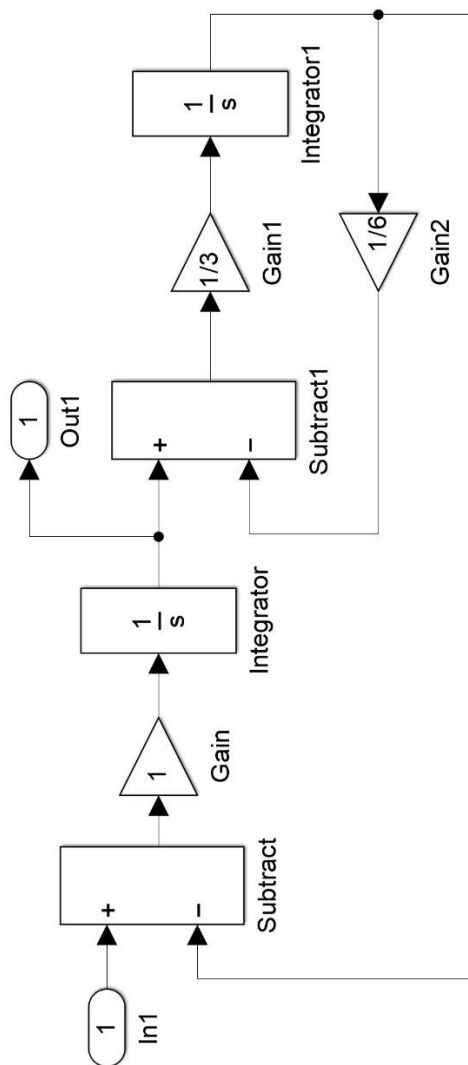


Lampiran 6. Simulink Baterai VRLA



Lampiran 7. Simulink Inverter





BIODATA PENULIS IRVING PUTRA FUADI



Penulis menempuh Pendidikan formal di SDNP Komplek IKIP Jakarta (2001-2007), SMP Labschool Jakarta (2007-2010), SMA Labschool Jakarta (2010-2013), dan Teknik Fisika ITS (2013-sekarang). Kegiatan Penulis di kampus mulai menjadi panitia kegiatan EPW (Engineering Physics Week) divisi LKTI (Lomba Karya Tulis Ilmiah) dan transportasi pada tahun pertama dan kedua, kemudian di tahun kedua menjadi panitia rapat paripurna FKMTF (Forum Komunikasi Mahasiswa Teknik Fisika) yang dilaksanakan di Teknik Fisika ITS, menjadi BPH (Badan Pengurus Harian) IMAJAS (Ikatan Mahasiswa Jakarta dan Sekitarnya se-Surabaya) 2015/2016 bagian keuangan dan menjadi staff divisi Hubungan Luar dan Publikasi di Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol pada tahun ketiga. Pada bulan Juli 2017 penulis telah menyelesaikan tugas akhir dengan berjudul **“Pengaruh dan Prediksi Perubahan Variabel Cuaca Terhadap Performansi dan Efisiensi Sistem PV: Studi Kasus di Kota Surabaya”**. Bagi pembaca yang memiliki kritik dan saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui nomor telepon +628119598752 atau melalui e-mail irvingfuadi@outlook.com.